

# RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn  
Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن  
باديس مستغانم كلية علوم  
الطبيعة والحياة

## DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

### MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :  
Mlle. LATRECHE Hanane  
M. DADASaber

Pour l'obtention du diplôme de

## MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Protection des végétaux

### Thème

**Formulation d'un biostimulant à base d'Azolla**

Soutenue publiquement le 03/11/2024

Mme. Boualem Malika	Président	Pre	UNIV.Mostaganem
M. Benguendouz Abdenour	Examineur	MCB	UNIV.Mostaganem
M. Benabdelmoumene Djilali	Encadrant	MCA	UNIV.Mostaganem
M. Benguennouna Noureddine	Co-Encadrant	Doctorant	UNIV.Mostaganem
M. Medjahed Mostefa	Représentant Incubateur	MCB	UNIV.Mostaganem
M. Ben attia Rachid	Représentant Socio/Econ	Privé	UNIV.Mostaganem

La thématique a été réalisée au niveau du laboratoire de physiologie animale appliquée Université-Mostaganem

Projet soutenu dans le cadre de l'arrêté 1275

Année universitaire : 2023/2024



# **REMERCIEMENT**

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.*

**M. BENEABDELMOUMENE Djilali**, mon encadrant de thème, je vous remercie pour votre encadrement précieux, votre patience et votre disponibilité tout au long de ce projet. Vos conseils avisés et votre expertise m'ont permis de progresser considérablement et de mener à bien ce travail de recherche.

**Mme Boualem Malika** Président du jury, je vous remercie pour l'honneur que vous me faites de présider ce jury et pour votre attention à ce mémoire.

**M. BENGUENDOZ Abdennour** Examineur, je vous remercie pour l'intérêt que vous avez porté à mon travail et pour vos remarques constructives qui m'ont permis d'améliorer la qualité de ce mémoire.

**M.MEDJAHED Mostefa**, je vous suis reconnaissant, responsable de l'incubateur et l'équipe, pour votre confiance et votre soutien envers mon projet. Vos précieux conseils et votre compréhension du monde entrepreneurial m'ont été d'une grande valeur.

**M. BENGANOUNA Noureddine**, et co-encadrant, je tiens à exprimer ma gratitude pour votre soutien inébranlable et vos encouragements constants. Votre expertise et votre profonde compréhension du domaine m'ont été extrêmement utiles.

**M. BOUKHATEM Nabil**, directeur de la ferme de Hassi Mameche, je vous remercie pour votre collaboration et votre aide précieuse lors de la collecte des données.

**M. BENATTIA Rachid** *Je tiens à exprimer ma gratitude pour votre soutien inébranlable et vos encouragements constants. Votre expertise et votre profonde compréhension du domaine m'ont été extrêmement utiles.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude envers tous les professeurs du département d'Agronomie pour la qualité de votre enseignement et votre soutien tout au long de ma formation universitaire.*

*À l'ensemble des étudiants de la spécialité protection des végétaux, je vous remercie pour assistant et votre soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*Je souhaite exprimer ma gratitude envers tous les membres du groupe de recherche du laboratoire de physiologie animale appliquée pour votre esprit de camaraderie et votre solidarité. Votre soutien et vos recommandations m'ont aidé à progresser dans ce domaine de recherche.*

## *Dédicace*

### **Tout-Puissant et Miséricordieux Allah :**

Je suis reconnaissant envers Allah, le Seigneur des mondes, qui m'a éclairé sur le chemin de la connaissance et m'a donné l'opportunité d'atteindre cette journée de succès. Que Dieu me pardonne mes erreurs et me donne la force de persévérer dans mes apprentissages et mes progrès.

Je suis reconnaissant

de tous tes bienfaits et je te demande de me bénir dans ma vie à venir. Accompagne-moi et donne-moi le succès dans tous mes projets.

### **À mon père :**

DADDA Abdelali

je te remercie de ta présence apaisante, de tes encouragements et de tes conseils précieux. Tu m'as enseigné énormément et je suis fier d'être ton fils. Je suis conscient que tu m'as toujours souhaité le meilleur, et je suis ravi de pouvoir te rendre fier aujourd'hui. Cette réussite démontre que tes efforts n'ont pas été inutiles.

### **À ma mère :**

Maman AOUN Rachida Tu

es la source de lumière dans ma vie et la force qui me pousse à toujours progresser. Je te remercie pour ton amour sans condition, ton soutien inébranlable et tes sacrifices précieux. Cette réussite est à la fois ton propre et mon propre. Je t'assure que je ne te décevrai jamais et que je t'honorerai toujours par mes actions. Je m'efforcerai de réussir dans ma vie et de te rendre service.

### **À mes sœurs :**

Je vous remercie pour votre soutien constant et vos instants de rire et de bonheur. (Zakaria Ahlem Thabet Rahma Hadjer Asma) Je suis vraiment heureux de vous avoir dans mon existence. Vous avez toujours été présent pour moi, que ce soit dans les moments positifs ou négatifs. Je suis conscient que vous pouvez toujours compter sur moi. C'est également votre réussite, car vous avez toujours eu confiance en moi et m'avez encouragé à donner le meilleur de moi-même.

### **À ma famille :**

Toute ma famille DADDA et AOUN vous représentez mon refuge et mon soutien inébranlable. Je vous remercie de votre soutien constant et de votre présence apaisante. Je ressens une profonde gratitude d'avoir une famille aussi extraordinaire. Sans vous, cette réussite n'aurait pas été réalisable. Vous avez toujours été présent pour moi, pour me soutenir et me donner la motivation de poursuivre.

### **À mes amis**

Vous êtes mes partenaires et mes sources de bonheur. (Abdallah Marouane Abderrahmane Amine) (Hanane Amani Asma Manel Ilham) Je vous remercie pour votre précieuse amitié, vos instants de rire et de folie, ainsi que pour votre soutien inébranlable. Je suis vraiment heureux de vous avoir dans mon existence. Je suis conscient que vous pouvez toujours compter sur moi. Vous êtes également responsable de cette réussite, car vous avez toujours eu confiance en moi et m'avez donné la force de persévérer.

## *Dédicace*

### **À mon cher père**

Dans l'ombre de ton absence, chaque succès est teinté de tristesse, car tu n'es pas là pour partager, mais aujourd'hui, plus que jamais, je sens ta présence à mes côtés. Ce projet, qui marque la fin de mes études, est un hommage à toi, mon guide silencieux, dont l'amour et la Force continuent de m'inspirer chaque jour. Tu m'as appris à affronter le monde avec courage et à ne jamais renoncer, des leçons que j'applique avec chaque battement de cœur, je dédie ce travail à toi cher papa.

### **À ma chère mère**

À la source de ma vie, à la prunelle de mes yeux, ma moitié maman, ce mémoire est dédié à toi, pour tout l'amour, la patience et les sacrifices que vous avez consentis pour que je puisse réaliser mes rêves. Votre soutien inconditionnel, vos encouragements constants et votre Confiance inébranlable ont été mon pilier tout au long de ce parcours. Vous m'avez appris la persévérance, le courage et l'importance de croire en moi.

À ma grande mère qui m'a toujours soutenu.

À mes frères Abdelmalek et Abdelaziz

Merci pour les échanges sincères, pour votre écoute attentive et pour les moments de partage qui ont allégé mon chemin. Votre confiance en moi et vos conseils avisés ont contribué à

Rendre ce projet possible.

À ma chère petite sœur soundouce ma confidente

À mon neveu charef marwan la joie de ma vie

À ma meilleure akila et sa sœur hadjer merci d'être dans ma vie, d'être la toujours pour moi

À tous les membres de ma grande famille latreche

À mes collègues et amis ( amani, asma, romaïssa, abdellah, marouane, saber )

Pour leur esprit de collaboration, leur soutien moral et les moments de partage qui ont enrichi cette expérience.

À mes oncles Mohamed et houssine et mes tantes houria amina et fatima

Et leurs enfants

À mon grand cousin madani

À mes petites cousines Ines, amina, syhem et kamylah

À tonton abdellah et sa femme fatima

hanane

## Résumé

Cette étude évalue l'efficacité de l'Azolla comme biostimulant pour les cultures de pomme de terre et de tomate en comparant quatre concentrations d'extrait d'Azolla (25 %, 50 %, 75 %, 100 %) avec deux témoins : un positif (biostimulant commercial) et un négatif (sans biostimulant). Les plants traités avec l'Azolla ont montré une croissance supérieure : la hauteur moyenne des tiges de tomate a atteint 42 cm, contre 32 cm pour le témoin négatif et 35 cm pour le positif. En floraison, les plants avec Azolla ont produit 74 fleurs en moyenne, surpassant les 69 fleurs du témoin positif et les 45 du témoin négatif. La production de fruits a également été améliorée, avec 65 fruits en moyenne pour Azolla contre 60 pour le témoin positif. En termes de rendement, l'Azolla a permis un poids moyen de 1250 g par plant, dépassant les 1145 g du témoin positif et les 998 g du témoin négatif. L'étude démontre clairement que l'utilisation de 100% d'Azolla est associée aux meilleurs résultats obtenus de nombre de tubercules de pomme de terre . Par ailleurs, l'utilisation de l'Azolla a enrichi la matière organique du sol, la faisant passer de 1,16 % à 2,12 %, soulignant son potentiel comme solution écologique pour une agriculture durable.

**Mot-clé :** Azolla, Biostimulant, Tomate, Pomme de terre, Rendement



## **Abstract**

This study evaluates the efficacy of Azolla as a biostimulant for potato and tomato crops by comparing four concentrations of Azolla extract (25%, 50%, 75%, 100%) with two controls: a positive (commercial biostimulant) and a negative (without biostimulant). Plants treated with Azolla showed superior growth: the average height of tomato stems reached 42 cm, compared to 32 cm for the negative control and 35 cm for the positive. During flowering, plants with Azolla produced 74 flowers on average, surpassing the 69 flowers of the positive control and 45 of the negative control. Fruit production was also improved, with 65 fruits on average for Azolla compared to 60 for the positive control. In terms of yield, Azolla allowed an average weight of 1250 g per plant, surpassing the 1145 g of the positive control and 998 g of the negative control. Furthermore, the use of Azolla enriched the organic matter of the soil, increasing it from 1.16% to 2.12%, highlighting its potential as an ecological solution for sustainable agriculture.

**Keywords:** Azolla, Biostimulant, Tomato, Potato, yield, fruit production

## ملخص

تقيم هذه الدراسة فعالية الأزوال كمنشط حيوي لمحصولي البطاطس والطماطم من خلال مقارنة أربعة تراكيز من مستخلص الأزوال (25%، 50%، 75%، 100%) (مع منشطين: واحد إيجابي) منشط حيوي تجاري (والآخر سلبي) بدون منشط حيوي). أظهرت النباتات المعاملة بالأزوال نمواً متفوقاً: بلغ متوسط ارتفاع سيقان الطماطم 42 سم، مقارنة بـ 32 سم للتحكم السلبي و35 سم لإيجابي. وفي التزهير أنتجت النباتات التي تحتوي على الأزوال 74 زهرة في المتوسط متجاوزة 69 زهرة في السيطرة الإيجابية و45 زهرة في السيطرة السلبية. كما تحسن إنتاج الثمار حيث بلغ متوسط عدد ثمار الأزوال 65 ثمرة مقارنة بـ 60 في مجموعة السيطرة الإيجابية. ومن حيث المحصول سمح الأزوال بمتوسط وزن 1250 جرام للنبات الواحد متجاوزاً 1145 جرام للتحكم الموجب و998 جرام للتحكم السلبي. عالوة على ذلك، أدى استخدام الأزوال إلى إثراء المادة العضوية للتربة، حيث زادها من 1.16% إلى 2.12%، مما سلط الضوء على إمكاناتها

كحل بيئي للزراعة المستدامة. الكلمات

المفتاحية: الأزوال، المنشط الحيوي، الطماطم، البطاطس، المحصول، إنتاج الفاكهة

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS :**

**%** : Pourcentage

**Cm** : Centimètre

**CE** : Conductivité électrique

**CEC** : capacité d'échange cationique

**MS** : matière sèche

**MM** : matière minérale

**MO** : matière organique

**g** : gramme

**Mg** : Milligramme

**L** : litre

**ml** : millilitre

**T** : Témoin

**C** : Celsius

**pH** : potentiel hydrogène

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et de l'agriculture

**INSID** : Institut national des sols de l'irrigation et drainage

**APS** : Algérie Presse Service

**BDP** : Biostimulants de défense des plantes

**MAMP** : Motifs moléculaires associés aux micro-organismes

**PR** : protéine

**ROS** : Formes actives d'oxygène

**HR** : Hypersensibilité

**UE** : Union européenne

**ADF** : Fibres acides détergentes

**NDF** : fraction des parois cellulaires considérée comme à peu près équivalente à l'hémicellulose, la vraie cellulose et la lignine

**Min** : valeur minimale

**Max** : valeur maximale

**MADR** : ministère d'agriculture et du Développement rural.

**Mm** : matière minérale

**MS** : matière sèche.

**MO** : matière organique

## Liste des tableau

<b>Tableau 01</b> : Composition de l'Azolla	9
<b>Tableau 03</b> : La classification taxonomique de la tomate	29
<b>Tableau 04</b> : Exigences de la culture de tomate en température, luminosité et hygrométrie	30
<b>Tableau 05</b> : Les maladies cryptogamiques de la tomate	32
<b>Tableau 06</b> : Les maladies bactériennes de la tomate	33
<b>Tableau 07</b> : Les principaux ravageurs de la tomate	48
<b>Tableau 08</b> : Modalités d'application des traitements du biostimulant sur la culture de la tomate et Pomme de terre	74
<b>Tableau 09</b> : Effet des extraits frais (F) et bouillis (B) d' <i>Azolla piñnata</i> sur le pourcentage de germination (%),	76
<b>Tableau 10</b> : Résultats D'azolla sur l'activité antibactérienne.	78
<b>Tableau 11</b> : poids de pomme de terre (g)	79
<b>Tableau 12</b> : Nombre de tubercules de pomme de terre	80
<b>Tableau 13</b> : nombre de talles de pomme de terre	83
<b>Tableau 14</b> : nombre des nœuds des tomates	85
<b>Tableau 15</b> : nombre des fleurs des tomates	87
<b>Tableau 16</b> : nombre des fruits des tomates	90
<b>Tableau 17</b> : poids des tomates	92
<b>Tableau 18</b> : longueur de racines des tomates	94
<b>Tableau 19</b> : Longueur des tiges	96
<b>Tableau 20</b> : taux de sucre dans la tomate	99
<b>Tableau 21</b> : Résultats de l'analyse du sol de la station de Mameche (Insid) Relizane 28.02.2024 Avant et après la plantation.	99

## Liste de figures

<b>Figure 01</b> : Culture d'Azolla	4
<b>Figure 02</b> : Azolla filiculoides	5
<b>Figure 03</b> : Azolla pinnata	6
<b>Figure 04</b> : Azolla caroniliana	6
<b>Figure 05</b> : Azolla mexicana	7
<b>Figure 06</b> : Azolla microphylla	7
<b>Figure 07</b> : Application de biostimulants aux différentes parties d'une plante	13
<b>Figure 08</b> : Mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'éliciteur	14
<b>Figure 09</b> : Mécanismes clefs recherchés lors de l'utilisation d'un biostimulant à base d'acide humique et fulvique	16
<b>Figure 10</b> : Les différentes variétés de la pomme de terre	21
<b>Figure 11</b> : cycle de la vie de plante de pomme de Terre	22
<b>Figure 12</b> : Stades de Développement de la pomme de terre	22
<b>Figure 13</b> : Alternariose Sur tubercules et Alternariose Sur feuilles	26
<b>Figure 14</b> : Pucerons, Teigne et Nématodes	26
<b>Figure 15</b> : Situation géographique de la ferme expérimentale de l'ITA –Mostaganem	34
<b>Figure 16</b> : L'Azolla pinnata	35
<b>Figure 17</b> : Le matériel utilisé durant l'expérience	35
<b>Figure 18</b> : La parcelle avant et après la fauche	36
<b>Figure 19</b> : Délimitation des bassins	36
<b>Figure 20</b> : Mise en place des briques	37
<b>Figure 21</b> : Mise en place des saches à la surface des bassins	37
<b>Figure 22</b> : Mise en place des bâches étanches	38
<b>Figure 23</b> : Ajout du sol à l'intérieur des bassins	38
<b>Figure 24</b> : Tamisage du sol	39
<b>Figure 25</b> : Remplissage des bassins avec de l'eau	39
<b>Figure 26</b> : Installe le Couverture	40
<b>Figure 27</b> : Plantation de l'Azolla	41
<b>Figure 28</b> : Vue globale des bassins après la plantation de l'Azolla	42
<b>Figure 29</b> : Préparation de la solution nutritive	42
<b>Figure 30</b> : préparation d'un extraite	43
<b>Figure 31</b> : Labour du sol (photo originale)	44
<b>Figure 32</b> : Installation du système d'irrigation (photo originale)	44
<b>Figure 33</b> : Dispositif expérimental	45
<b>Figure 34</b> : La transplantation de deux cultures	46
<b>Figure 35</b> : Mesure de la longueur et de la tige la tomate et nombres des talles de pomme de terre	47
<b>Figure 36</b> : Mesure de la longueur et nombres des fleurs et fruits tomate	47
<b>Figure 37</b> : Application du biostimulant sur la culture de tomate et pomme de terre par	48
<b>Figure 38</b> : préparation de l'extrait aqueux	50
<b>Figure 39</b> : Lavée l'azolla et agité	53
<b>Figure 40</b> : Les graines trempées pendant 12 heures	54

<b>Figure 41</b> : Les graines dans des plats	54
<b>Figure 42</b> : Protocole de teste de germination	45
<b>Figure 43</b> : prélèvement d'échantillon	56
<b>Figure 44</b> : pH-mètre	57
<b>Figure 45</b> : conductimètre	58
<b>Figure 46</b> : Mesure de capacité d'échange cationique	59
<b>Figure 47</b> : Calcimètre de BERNARD	59
<b>Figure 48</b> : dosage du calcaire actif	61
<b>Figure 49</b> : Bain de sable	62
<b>Figure 50</b> : matière sèche	64
<b>Figure 51</b> : Matière minérale	64
<b>Figure 52</b> : Dosage des protéines brutes	65
<b>Figure 53</b> : Dosage de lipides totaux Soxhlet	66
<b>Figure 54</b> : Total Apparence de pomme de terre	97
<b>Figure 55</b> : texture de pomme de terre	98
<b>Figure 56</b> : gout de pomme de terre	100
<b>Figure 57</b> : l'odeur de pomme de terre	102

## 1. Chapitre 1 : Azolla

1.1. Définition d'Azolla	3
1.2. Description morphologique	4
1.3. Taxonomie	4
1.4. Espèces d'Azolla	5
1.4.1. Azolla filiculoides	6
1.4.2. Azolla pinnata	6
1.4.3. Azolla caroliniana	6
1.4.4. Azolla mexicana	7
1.4.5. Azolla microphylla	8
1.5. Nutriments	8
1.6. Composition nutritionnelle de l'azolla	9
1.7. Utilisation d'Azolla	10
1.7.1. L'utilisation de l'azolla en agriculture	10
1.7.2. En alimentation humaine	10
1.7.3. En alimentation animale	10

## 1. Chapitre 2 : Biostimulant

2.1. Définition générale	11
2.2. Propriétés des biostimulants	11
2.3. Biofertilisant	11
2.4. Origine et composition des biostimulants	11
2.5. Classification des biostimulants	12
2.6. Mode d'action des biostimulants	12
2.7. Mécanismes d'action des biostimulants appliqués dans le sol	13
2.8. Mécanismes d'action des biostimulants de défense	14
2.9. Rôle des biostimulants	14
2.10. Utilisation des biostimulants	15
2.10.1. Utilisation des biostimulants en Algérie	17
2.10.2. Utilisation de biostimulants dans le monde	18
2.11. Types de biostimulants	18

## 2. Chapitre 3 : Cultures maraîchères

3.1. L'origine de la pomme de terre	19
3.2. Description botanique	19
3.3. Classification botanique et taxonomie	20
3.4. Description morphologique	20
3.5. Importance de la culture de pomme de terre	21
3.6. Les variétés de la pomme de terre	21
3.7. Exigences de la culture de pomme de terre	21
3.7.1. Facteurs climatiques	21
3.7.2. Humidité	21
3.8. Phénologie de la pomme de terre	21
3.9. Les techniques culturales de la pomme de terre	22
3.9.1. Plantation	22



3.9.2. Fertilisation	23
3.9.3. Irrigation	23
3.9.4. Désherbage	23
3.9.5. Récolte	23
3.10. Maladies et ravageurs	23
3.10.1. Maladies cryptogamiques	25
3.10.2. Insectes et ravageurs	25
3.11. La tomate	27
3.11.1. Importance économique de la tomate	27
3.11.2. Description botanique	28
3.11.3. Cycle phénologique de la tomate	28
3.11.4. Écologie de la tomate	29
3.11.5. Variétés de tomate en Algérie	31
3.11.6. Principales maladies et ravageurs de la culture de tomate	32

### **Matériel et Méthode**

1. Objectifs de travail	34
2. Zone et durée de l'expérience	35
3. Situation géographique de la station expérimentale	36
4. Matériel utilisé	36
• 4.1 Matériel végétal	36
• 4.2 Matériel de mesure	36
5. Protocole expérimental	36
• 5.1 Première partie	36
• Préparation du terrain	40
• Construction et préparation des bassins	40
• 5.2 Deuxième partie	40
• Plantation de l'Azolla dans les bassins	41
6. Déroulement de l'expérience	42
• 6.1 Suivi de la récolte	43
• 6.2 Séchage d'Azolla	44
• 6.3 Suivi de rendement d'Azolla	44
7. Matériels biologiques	45
8. Préparation du lit de transplantation	45
• 8.1 Labour profond	46
• 8.2 Installation du système d'irrigation	46
9. Dispositif expérimental	46
10. La transplantation	46
• 10.1 Conduite et entretien de la culture	47
11. Paramètres morphologiques	47
12. Modalités d'application du biostimulant	48
13. Test de germination	54
14. Expérience de germination	55
15. Prélèvements d'échantillons du sol	56
• 15.1 Les analyses physico-chimiques de sol	57
• 15.2 Paramètres étudiés	58
16. Activité antimicrobienne	70

• 16.1 Les souches pathogènes utilisées	71
• 16.2 Le renouvellement et l'enrichissement des souches Pathogènes	71
• 16.3 Méthode de diffusion en puits	71
• 16.4 Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)	71

### **Résultats et discussion**

2. Teneur en Matière sèche d'Azolla	72
3. Teneur en Matière minérale d'Azolla	72
4. Matière organique	72
5. Teneur en Lipides	72
6. Teneur en Protéines	72
7. Flavonoïdes	73
8. Tanins	73
9. Teneur en Caroténoïdes	73
10. Taux de Chlorophylle	73
11. Taux de Polyphénols	74
12. Résultats du Test de Germination	75
13. Activité antimicrobienne	76
14. Analyses sur la Tomate et la Pomme de terre	78
• 14.1 Poids de Pomme de terre	78
• 14.2 Nombre de Tubercules de Pomme de terre	79
• 14.3 Nombre de Tallies de Pomme de terre	79
• 14.4 Nombre de Nœuds de Tomate	82
• 14.5 Nombre de Fleurs de Tomate	84
• 14.6 Nombre de Fruits de Tomate	85
• 14.7 Poids de la Tomate	87
• 14.8 Longueur de Racine des Tomates	90
• 14.9 Longueur des Tiges	92
15. Taux de Sucre dans la Tomate (en Brix)	94
16. Test de Dégustation de Pomme de terre	96
• 16.1 Apparence de la Pomme de terre	97
• 16.2 Texture de la Pomme de terre	98
• 16.3 Goût de la Pomme de terre	99
• 16.4 Odeur de la Pomme de terre	101
17. Résultats de l'Analyse du Sol	105
18. Conclusion	108

# **Introduction Générale**

## **Introduction**

L'agriculture contemporaine doit répondre au double défi de produire des aliments sains pour une population mondiale croissante tout en préservant les ressources environnementales (**Desfontaines et al.**, 2018). Selon les projections des Nations Unies, la population mondiale atteindra 9,7 milliards en 2050, ce qui augmentera considérablement la demande alimentaire et nécessitera un doublement de la production (**Nations Unies**, 2019 ; **Ray et al.**, 2013). Parallèlement, les consommateurs montrent une préférence croissante pour les aliments biologiques afin d'éviter les conservateurs chimiques et les OGM (**García-Sánchez et al.**, 2022).

En 2018, la production mondiale de légumes frais a été estimée à environ 1088,9 millions de tonnes, dont 182 millions de tonnes de tomates fraîches (**Statista**, 2020 ; **Faostat**, 2020). En Algérie, les cultures maraîchères occupent la deuxième place en termes de production nationale avec 13,2 millions de tonnes, et un rendement moyen de 30 tonnes par hectare (**Madr**, 2018 ; **Safadine et al.**, 2019). Parmi ces cultures, les Solanacées (tomate, aubergine, poivron, pomme de terre, etc.) sont particulièrement importantes, occupant 70 % des terres cultivées, avec la culture de la tomate en serre et en plein air jouant un rôle majeur. Cependant, les conditions climatiques et la pression des insectes déprédateurs impactent significativement la qualité et la quantité des productions (**Zaid et al.** 2022).

Les changements climatiques représentent un défi majeur pour l'agriculture, étant donné sa dépendance aux facteurs climatiques tels que le rayonnement solaire, les précipitations et la température (**Giec**, 2007). L'augmentation des gaz à effet de serre et, par conséquent, de la température mondiale menace l'agriculture familiale (**Kabore et al.**, 2019). En raison de l'augmentation de la population, il est prévu que d'ici 2050, le monde nécessitera 60 % de nourriture supplémentaire par rapport à ce qui est actuellement disponible, nécessitant une augmentation de la production sur les terres déjà cultivées (**Fao**, 2019).

Pour satisfaire la demande alimentaire actuelle, les agriculteurs ont recours à des quantités excessives d'intrants chimiques, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur l'écologie des systèmes agricoles, entraînant une contamination chimique des sols et des ressources en eau, ainsi que des résidus sur les produits récoltés (**Giri et al.**, 2019).

La biostimulation des plantes émerge comme une solution prometteuse pour améliorer la qualité des récoltes et les rendements tout en réduisant l'utilisation d'engrais chimiques. Les biostimulants,

qui peuvent améliorer les performances des systèmes de culture ou prévenir les pertes de rendement en cas de stress abiotique, contiennent des composants organiques ou inorganiques dont la plupart sont encore méconnus (**Cataldo et al.**, 2022). Le mécanisme d'action moléculaire des biostimulants peut être étudié en analysant les changements transcriptomiques, protéomiques et métabolomiques des plantes traitées (**Franzoni et al.**, 2022).

Le secteur des biostimulants végétaux a connu une croissance notable ces dernières années, avec un marché mondial estimé à environ 2 milliards de dollars en 2019 (**Dunham et Trimmer**, 2020). Cependant, il est estimé que 1,5 million d'hectares de terres sont en péril et que 50 % des terres cultivables seront perdues d'ici 2050 (**Ibrahim**, 2016). L'utilisation des biostimulants comme engrais biologiques est largement étudiée, notamment pour le traitement des semences, des feuilles et autres organes aériens, ainsi que pour la préparation des sols (**Drobek et al.**, 2019; **Ashour et al.**, 2021; **Della Lucia et al.**, 2021).

Les plantes aquatiques, telles que l'*Azolla*, présentent un potentiel prometteur comme biostimulants naturels, favorisant la floraison et offrant une protection contre les ravageurs et les maladies grâce à leurs propriétés observées en médecine traditionnelle (**Colla et Rouphael**, 2015 ; **Silvie et al.**, 2021). Bien que de nombreuses études utilisent des biostimulants d'origine végétale, une grande variété de plantes et leurs dérivés restent partiellement exploités ou inexplorés.

Cette étude vise à formuler un biostimulant à base d'*Azolla* et à évaluer ses effets sur deux cultures majeures en Algérie : la pomme de terre et la tomate en plein champ. Nous examinerons le rôle de ces extraits en tant que biostimulants végétaux et leurs impacts sur la germination des graines, la croissance des plantes et l'élaboration des systèmes de défense naturelle contre les stress abiotiques et biotiques. Cette recherche mettra en évidence l'exploitation des extraits d'*Azolla* dans le cadre d'une technologie verte et éco durable, promouvant une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

L'intégration des biostimulants dans les pratiques agricoles représente une avancée significative pour répondre aux défis posés par l'augmentation de la demande alimentaire et les changements climatiques. Les biostimulants, en particulier ceux à base d'*Azolla*, offrent une solution potentielle pour améliorer les rendements des cultures tout en préservant les ressources naturelles et en réduisant l'impact environnemental de l'agriculture.

# **Rappels Bibliographiques**

# **Chapitre I : Azolla**

## 1. Définition d'Azolla

Les espèces flottantes qui peuplent les zones humides suscitent un intérêt croissant en raison de leur capacité à générer une biomasse abondante, de leur efficacité élevée en bioremédiation, de leur faible coût d'exploitation, ainsi que de leur gestion et récolte simplifiée (**Sudiarso et al.**, 2019). Parmi elles, l'azolla se distingue comme l'un des macrophytes les plus économiquement significatifs à l'échelle mondiale (**Kollah et al.**, 2016 ; **Kosesakal**, 2018), notamment grâce à son rythme de croissance rapide (**Muradov et al.**, 2014). Grâce à son symbiote naturel capable de fixer l'azote, l'Azolla peut se développer de manière efficace même en l'absence d'azote dans le milieu (**Miranda et al.**, 2020). Sa croissance et sa production de biomasse dépendent de la température environnante, chaque espèce ayant des seuils de température minimale, maximale et optimale spécifique. Dans des conditions idéales, les espèces d'azollas affichent une prolifération végétative accélérée, doublant leur biomasse en seulement 2 à 5 jours (**Sadeghi et al.**, 2013). Cultivée dans des environnements artificiels, des eaux usées ou des bassins de maturation, l'Azolla est l'une des plantes les plus prolifiques, avec une productivité comprise entre 2,9 et 5,8 g de poids sec par m<sup>2</sup> et par jour (soit 10,5 à 21,1 tonnes de poids sec par hectare et par an) (**Kollah et al.**, 2016). Grâce à sa composition chimique unique, l'Azolla est considérée comme une ressource bioénergétique prometteuse pour l'avenir (**Brouwer et al.**, 2016).

## 2. Description morphologique

L'azolla, plante aquatique flottante, colonise les eaux calmes des champs de cresson, des rizières, des étangs et des canaux d'irrigation. Elle forme une symbiose avec une cyanobactérie du genre *Anabaena*, qui possède la remarquable capacité de fixer l'azote atmosphérique, le transformant en une forme assimilable par les plantes environnantes. Grâce à cette association, l'Azolla joue un rôle clé dans l'amélioration de la fertilité des sols. Dans des conditions idéales, sa croissance est particulièrement rapide et exponentielle, permettant à sa biomasse de doubler tous les trois jours (**Reynaud et Franche**, 1985 ; **Raoelina**, 1995 ; **Chander et al.**, 2017).





**Figure 01** : Culture d'azolla (**Harlaut**, 2019).

L'azolla, plante aquatique caractérisée par une structure de fronde, se compose d'un rhizome, de feuilles et de racines. Son rhizome principal, rarement plus long que 3 à 4 cm, se ramifie en branches secondaires, qui peuvent elles-mêmes se diviser en rhizomes tertiaires et quaternaires. Cette architecture particulière confère à la plante une forme triangulaire ou circulaire, selon les espèces (**Van-Hove**, 1989 ; **Raoelina**, 1995). Les feuilles de l'azolla sont formées de deux lobes distincts : le lobe supérieur, plus épais et riche en chlorophylle, est positionné au-dessus de la tige et contient une cavité interne où réside une population de cyanobactéries symbiotiques, *Anabaena azolla*, responsable de la fixation de l'azote (**Van-Hove**, 1989 ; **Amroune**, 2020). Cette symbiose unique permet à l'azolla de jouer un rôle écologique majeur.

### 3. Taxonomie

Le genre azolla fait partie du phylum des Ptéridophytes, de l'ordre des Salviniales et de la famille des *Azollaceae* (**Reynaud et Franche**, 1985). On dénombre au moins huit espèces d'azolla à travers le monde, parmi lesquelles *Azolla caroliniana*, *Azolla circinata*, *Azolla japonica*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, *Azolla nilotica*, *Azolla pinnata* et *Azolla rubra* (**Amroune**, 2020). La classification systématique d'*azolla sp.* Est présentée comme suit (**Diomande et al.**, 2017).

**Règne :** Plantae

**Sous-règne :** Tracheobionta

**Division :** Pteridophyta

**Classe :** Liliopsida

**Ordre :** Hydropteridales

**Famille :** Azollaceae

**Genre :** Azolla

#### 4. Espèces d'Azolla

##### 4.1 *Azolla filiculoides*

Cette plante, communément appelée azolla flottante ou Fougère flottante, comme illustrée dans la (figure 02), est largement répandue dans de nombreux pays. Ses feuilles, petites et en forme d'aiguilles, sont de couleur verte, tandis que ses racines se suspendent sous l'eau. Elle a une forte propension à former des colonies denses (**Martin et al.**, 1982).



**Figure 02 :** *Azolla filiculoides* (**Afrique Science** 14(5) (2018) 1)

##### 4.2 *Azolla pinatta*

Cette variété, désignée sous le nom d'azolla à feuilles pennées, comme le montre la (figure 03), se distingue par ses feuilles vert éclatant et segmentées. Elle est originaire des régions tropicales et subtropicales d'Asie et d'Afrique (**Triest et al.**, 2013).



**Figure 03 :** *Azolla pinnata* (Saurav, 2022)

#### **4.3 *Azolla caroniliana***

Cette variété, native des Amériques et communément appelée azolla de Caroline (figure 04), se distingue par ses feuilles vertes subtilement dentelées, disposées en rosettes compactes et denses. Elle est particulièrement prisée comme engrais organique dans les plantations de riz, en raison de ses remarquables propriétés fertilisantes naturelles (Lumpkin *et al.*, 1980).



**Figure 4 :** *Azolla caroniliana* (Afrique Science 14(5) (2018) 1)

#### **4.4 *Azolla mexicana***

Aussi appelée azolla du Mexique (figure 05), cette variété se distingue par ses feuilles d'un vert clair et ses racines fines et délicates. On la rencontre fréquemment dans les milieux aquatiques doux, et elle est largement utilisée dans les systèmes de traitement et de purification des eaux usées en raison de son efficacité naturelle (Johansson *et al.*, 2006).



**Figure 5 :** *Azolla mexicana* (Russ *et al.*, 2008)

#### **4.5 *Azolla microphylla***

*Azolla microphylla* (figure 6) se distingue par son potentiel comme source nutritive pour les volailles, grâce à sa teneur élevée en protéines, variant de 20 à 35 %. Elle est également riche en vitamines A et B12, ainsi qu'en acides aminés essentiels, tels que la lysine (0,46 %), la méthionine (0,05 %) et l'acide glutamique (1,54 %) (Nuraini *et Mirzah*, 2021). Sa multiplication rapide, en 2 à 9 jours, permet de récolter jusqu'à 20 tonnes de biomasses fraîches par hectare à partir d'une semence initiale de 0,5 tonne par hectare. De plus, *Azolla microphylla* offre un rendement de biomasse significatif, pouvant atteindre entre 1 et 2kg/m<sup>2</sup>, selon la fertilité du bassin de culture (Lukiwati *et al.*, 2008).



**Figure 6 :** *Azolla microphylla* (Saurav, 2022)

## 5. Nutriment

Les besoins minéraux d'azolla incluent des macro-éléments essentiels tels que le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le manganèse (Mn), ainsi que des oligo-éléments comme le fer (Fe) et le molybdène (Mo). Une carence en ces éléments se traduit par un ralentissement significatif de sa croissance (**Becking**, 1979). Toutefois, l'aspect le plus remarquable de la nutrition d'azolla réside dans son indépendance totale vis-à-vis des sources d'azote. La plante est capable de se développer pleinement sans azote combiné, grâce à sa capacité intrinsèque à fixer l'azote atmosphérique, un processus favorisé par ses symbiotes (**Amroune**, 2020 ; **Sebastian et al.**, 2021).

## 6. Composition nutritionnelle de l'azolla.

La composition chimique des espèces d'azollas varie selon le génotype, les conditions écologiques et le stade de croissance. En général, sa teneur en matière sèche reste relativement faible, entre 5 et 7 %. En revanche, sa teneur en protéines, dans des conditions optimales, se situe entre 19 et 30 % de la matière sèche. La composition en acides aminés dépend de l'espèce, avec une concentration notable de lysine, représentant environ 4 à 6 % des protéines totales. Contrairement aux lentilles d'eau, l'azolla présente une richesse en fibres : sa teneur en NDF peut dépasser 50 % de la matière sèche, tandis que la cellulose brute représente environ 15 % et la lignine entre 10 et 13 % de la matière sèche (tableau 01). En outre, comme de nombreuses plantes aquatiques, l'azolla est particulièrement riche en minéraux, représentant 10 à 20 % de sa matière sèche, ce qui en fait une source précieuse de macro- et oligo-éléments. Toutefois, sa teneur élevée en fibres et en minéraux peut limiter son utilisation dans certaines applications spécifiques (**Feedpedia**, 2019).

**Tableau 01** : La composition de l'Azolla (**Feedipedia, 2019**).

<b>Analyse Principale</b>	<b>Unité</b>	<b>Moy</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>NB</b>
<b>Matière sèche</b>	% alimenté	6.7	5.1	8.7	8
<b>Protéine brute</b>	% DM	20.6	13.9	28.1	15
<b>Fibre brute</b>	%DM	15.0	11.3	22.8	9
<b>NDF</b>	%DM	43.8	35.4	52.3	6
<b>ADF</b>	%DM	31.8	24.0	38.9	5
<b>Lignine</b>	%DM	11.4	9.3	13.5	5
<b>Extrait d'éther</b>	%DM	3.8	1.9	5.1	9
<b>Cendre</b>	%DM	15.9	9.8	21.6	12
<b>Amidon (polarimétrie)</b>	%DM	4.1	2.7	5.5	2
<b>Énergie brute</b>	MJ /Kg DM	17.0			

NDF : fraction des parois cellulaires considérée comme à peu près équivalente à l'hémicellulose, la vraie cellulose et la lignine. ADF : Fibres acides détergentes, fraction des parois cellulaires selon Van Soest, considérée comme à peu près équivalente à la vraie cellulose et à la lignine ; Min : valeur minimale ; Max: valeur maximale.

## 7. Utilisation d'Azolla

### 7.1 L'utilisation de l'azolla en agriculture

L'azolla, grâce à sa croissance rapide, sa capacité exceptionnelle de fixation de l'azote et sa décomposition rapide, constitue un engrais écologique et économique aux multiples avantages. Dans les rizières, elle est utilisée comme engrais vert, améliorant non seulement la fertilité du sol, mais également sa santé globale. En outre, l'azolla inhibe la croissance des mauvaises herbes, permettant ainsi de réduire les coûts de production du riz tout en soutenant une amélioration durable de la productivité et de l'intégrité des sols (**Muhammad et al.**, 2020). Sa capacité à augmenter la production mondiale de riz en fait un acteur essentiel de la sécurité alimentaire.

Les biofertilisants à base d'azolla entraînent une élévation significative de la teneur en azote des sols. Souvent désignée comme la « mine d'or vert » de la nature, l'azolla a également des applications variées : elle est utilisée comme médicament, purificateur d'eau, aliment pour l'homme et pour la production de biogaz (**Roy, Pakhira, et Bera**, 2016).

### 7.2 En alimentation humaine

Certaines recherches ont exploré l'intégration de l'azolla dans des soupes et sous forme de « boulettes de viande azolla » en tant qu'alimentation humaine. Selon **Sjodin et al.** (2012), l'Azolla s'est révélée efficace dans le traitement traditionnel de la toux en Tanzanie (**Rahal et al.**, 2019). De plus, en raison de sa haute teneur en protéines, l'azolla est largement utilisée comme un complément alimentaire bénéfique (**Divya et al.**, 2020).

### 7.3 En alimentation animale

L'azolla est utilisée comme complément alimentaire pour une grande variété d'animaux, tels que les bovins, chèvres, porcs, lapins, poulets, canards et poissons (**Roy et al.**, 2016). En raison de sa faible teneur en glucides et en lipides, elle constitue une source nutritionnelle équilibrée. Sa composition biologique avantageuse en fait l'une des options alimentaires les plus rentables et efficaces pour les vaches. De plus, sa richesse en protéines et sa faible teneur en lignine en font un aliment hautement digestible pour les animaux, optimisant ainsi leur assimilation des nutriments (**Bhatt et al.**, 2020).

# **Chapitre II : Biostimulant**



### 1. Définition générale

Les biostimulants sont des substances non fertilisantes qui, appliquées en petites quantités aux plantes ou au sol, stimulent la croissance des cultures (Calvo *et al.*, 2014 ; Du Jardin, 2015). Leur rôle principal est d'améliorer l'absorption et l'utilisation des nutriments par les plantes, d'accroître leur efficacité, et d'augmenter leur tolérance aux stress abiotiques et biotiques, tout en optimisant les qualités des cultures, indépendamment de leur teneur en nutriments (Paradić *et al.*, 2019 ; Zulficar *et al.*, 2019 ; Mirmajless *et Radhakrishnan*, 2020)

### 2. Propriétés des biostimulants

Les biostimulants sont reconnus pour leurs nombreuses propriétés bénéfiques. Ils favorisent l'absorption des nutriments par les plantes, qu'ils soient issus de l'environnement ou apportés par les engrais. Ils renforcent également la tolérance et la résilience des plantes face aux stress abiotiques tels que la sécheresse, les excès d'eau, le gel ou la salinité. En outre, ils améliorent les critères de qualité des produits récoltés, notamment la teneur en sucre et en lipides, la couleur et la conservation. Les biostimulants stimulent également l'activité microbienne et optimisent les propriétés physico-chimiques des sols, facilitant ainsi la dégradation des composés organiques. Par ailleurs, ils augmentent les rendements tout en contribuant à réduire l'utilisation de fertilisants issus de ressources non renouvelables (Saa, 2015).

### 3. Biofertilisant

Une étude menée par (Nurhidayati *et al.* 2020) a démontré que l'application d'*Azolla* a un impact significatif sur la croissance et le rendement de la moutarde. Les plants de moutarde traités avec *Azolla* présentaient une hauteur supérieure, un nombre accru de feuilles, ainsi qu'une biomasse considérablement plus élevée par rapport aux plants témoins non traités. En outre, l'utilisation d'*Azolla* a nettement augmenté le rendement en graines de moutarde par rapport aux témoins. L'étude conclut que l'application d'*Azolla* en tant que biofertilisant constitue une méthode efficace pour stimuler la croissance et maximiser le rendement de la moutarde.

### 4. Origine et composition des biostimulants

Les biostimulants sont issus de diverses sources, qu'elles soient animales ou végétales, et leur composition dépend fortement des ressources naturelles spécifiques utilisées, telles que les espèces ou les types de tissus (Du Jardin *et al.*, 2015 ; Yahkin *et al.*, 2017).

Les métabolites primaires et secondaires se distinguent par leur nature, et la composition

complexe de ces substances crée un mélange diversifié de groupes chimiques. Ce mélange inclut des hormones, des acides aminés, des bétaines, des peptides, des protéines, des sucres tels que les oligosaccharides, des aminopolysaccharides, des lipides, des vitamines, des nucléotides et nucléosides, des substances humiques (acides humique et fulvique), des composés phénoliques, des stérols, et bien d'autres (**Desfontaines et al.**, 2018).

### 5. Classification des biostimulants

Les biostimulants sont classés par les auteurs selon différents critères, notamment leur origine, leurs fonctions, leur mode d'utilisation ou les effets observés (**Yakhin et al.**, 2017). Cette classification peut varier, allant de quatre groupes de matières premières jusqu'à neuf groupes, comme l'ont décrit Ikrina et ses collaborateurs (2004).

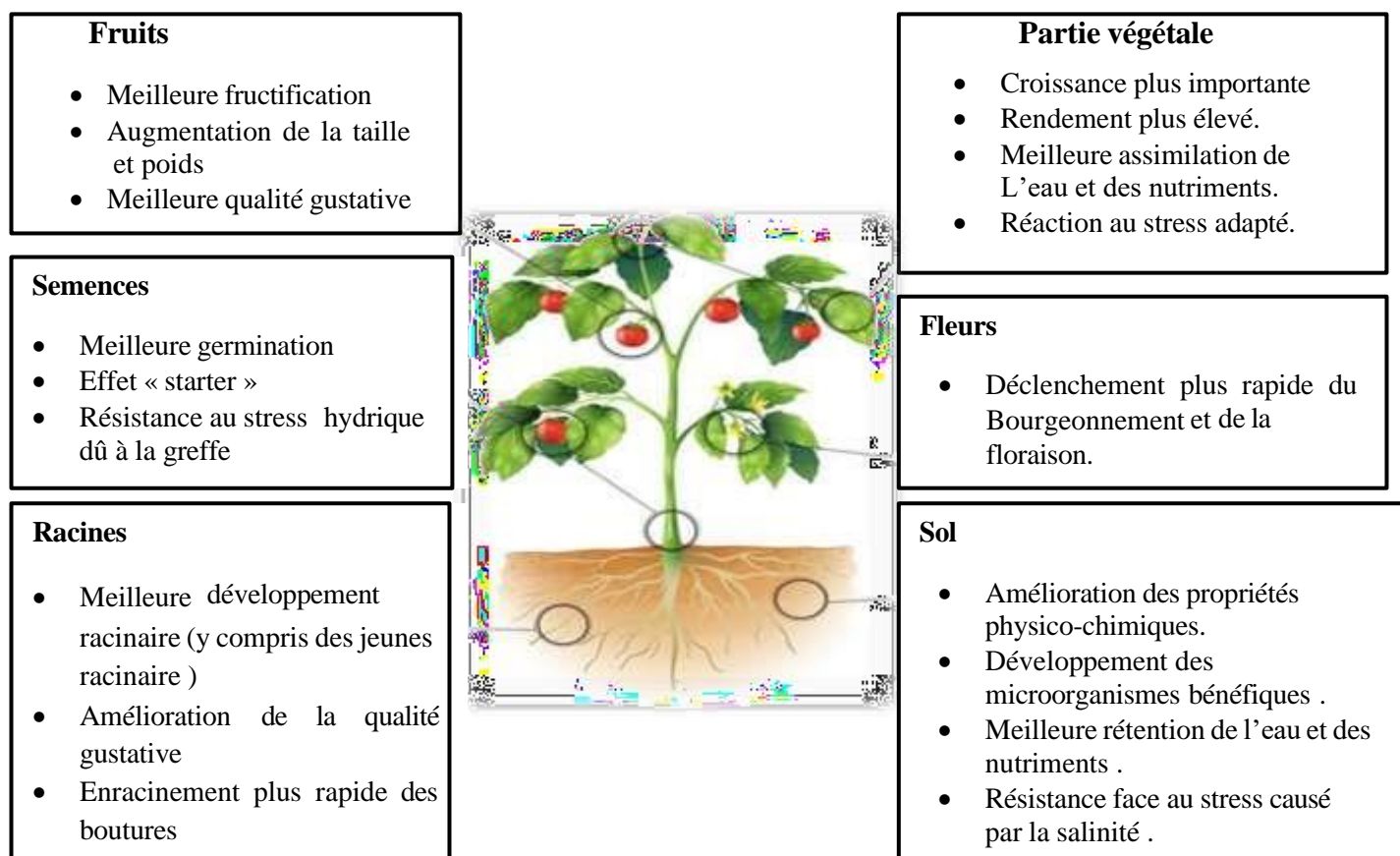
- 1) Microorganismes (bactéries, champignons),
- 3) Coquillage, animaux et abeilles,
- 4) Substances humiques,
- 5) Huiles végétales,
- 6) Minéraux naturels,
- 7) Eaux,
- 8) Résines,
- 9) autres matières premières.

D'après (**Kauffman et al.** 2007), les biostimulants organiques sont classés en trois principaux groupes : les extraits d'algues, les substances humiques et les produits à base d'acides aminés. Par la suite, (**Calvo et son équipe** 2014), ainsi que (**Du Jardin** 2015), ont élargi cette classification en identifiant sept catégories distinctes de biostimulants.

- 1) Acides humiques et fulviques,
- 2) Hydrolysats protéines et autres composés contenant de l'azote,
- 3) Extraits d'algues et plantes,
- 4) Chitosane et autres biopolymères,
- 5) composés inorganiques,
- 6) Champignons bénéfiques
- 7) Bactéries bénéfiques.

## 6. Mode d'action des biostimulants

Les biostimulants peuvent agir par différents mécanismes en stimulant la physiologie de la plante, en modulant des activités enzymatiques ou des voies hormonales, en induisant la production de métabolites (Figure. 07). Certains produits limitent la transpiration des feuilles. D'autres agissent au niveau du sol, sur la dégradation de la matière organique, la régulation de la microflore ou la structure du sol... etc (**Kumar et al.**, 2020).

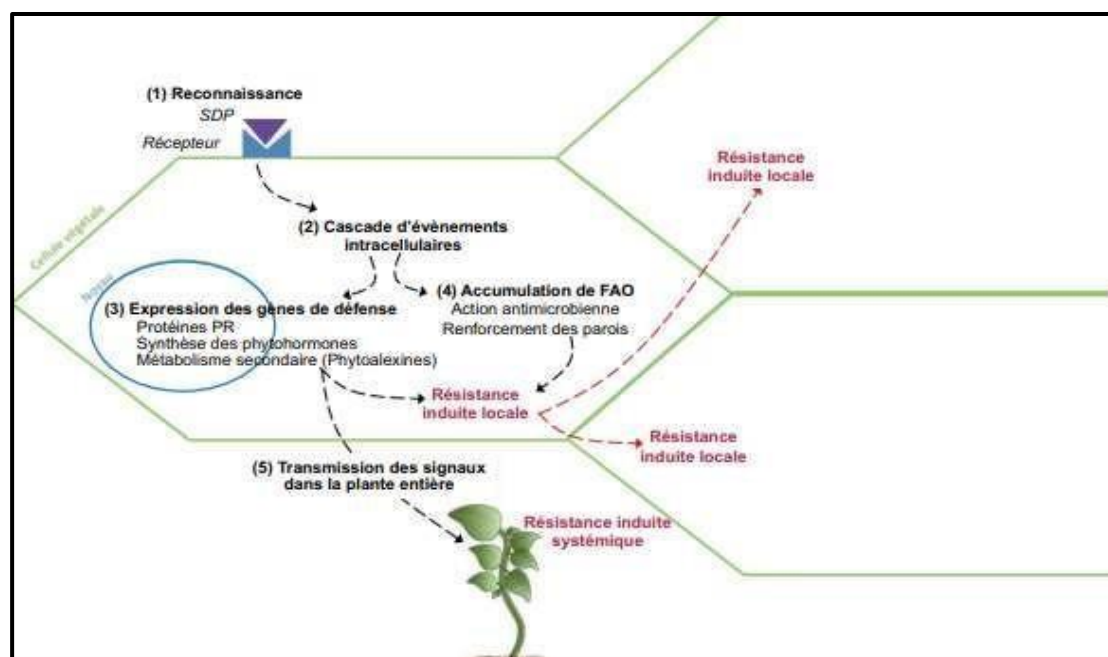


**Figure 07 :** Application de biostimulants aux différentes parties d'une plante (**Povero et al.**, 2016).

Selon les recherches menées par Yakhin et ses collègues (2017), les biostimulants ont principalement des effets sur la germination, la croissance des racines et des plantes, la photosynthèse, l'absorption des nutriments du sol, la résistance au stress biotique, le métabolisme de l'azote et du phosphore du sol, l'activité microbienne des sols, ainsi que la réduction ou l'amélioration des effets néfastes des facteurs de stress abiotiques (Franzoni *et al.*, 2022).

### 7. Mécanismes d'action des biostimulants appliqués dans le sol

Dans les études, deux mécanismes d'action principaux des biostimulants appliqués dans le sol ont été identifiés (figure. 08), à savoir un effet direct sur les propriétés biologiques, physiques et/ou chimiques du sol, ou encore une inoculation de microorganismes bénéfiques pour les plantes. L'application de biostimulants dans le sol a entraîné une augmentation rapide (en quelques heures) des activités enzymatiques impliquées dans les cycles de l'azote, du phosphore, du soufre et dans la décomposition de la matière organique (Caballero *et al.*, 2019).



**Figure 08** : Mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur (Fassel *et Clement*, 2016).

## 8. Mécanismes d'action des biostimulants de défense

Les biostimulants de défense des plantes (BDP) font référence à "toute substance ou tout micro-organisme vivant non pathogène capables de favoriser un état de résistance significativement plus élevé par rapport à une plante non traitée, face à des stress biotiques" (Elicitra, 2017). Ils permettent la reconnaissance de l'agresseur biologique par des éliciteurs généraux exogènes : les motifs moléculaires associés aux micro-organismes (MAMP). Ces éliciteurs déclenchent une réponse de défense de la plante qui n'est pas spécifique à l'espèce pathogène. Après l'interaction entre l'éliciteur et le récepteur, une série d'événements de signalisation est déclenchée, entraînant la production de molécules de défense (phytoalexines, protéines PR...) et de formes actives d'oxygène (ROS). Ces molécules peuvent provoquer une Réaction d'Hypersensibilité (HR), qui se traduit par l'autodestruction de la cellule attaquée et/ou le renforcement de la paroi pour créer une barrière physique contre le pathogène. La transmission du signal à travers la plante peut aboutir à l'acquisition d'une résistance systémique (Faessel *et al.*, 2014).

### 8.1 Stimulation de la croissance

Certaines bactéries produisent des substances qui stimulent directement la croissance des plantes, telles que des phytohormones (auxines, gibbérellines, cytokinines, éthylène) ou des molécules volatiles (2,3-butanediol, acétoïne, etc.). Les voies de signalisation activées par ces molécules externes entraînent une promotion de la croissance (racinaire ou végétative), une augmentation de la teneur en chlorophylle, voire une meilleure résistance aux stress abiotiques (Benichou *et al.*, 2019).

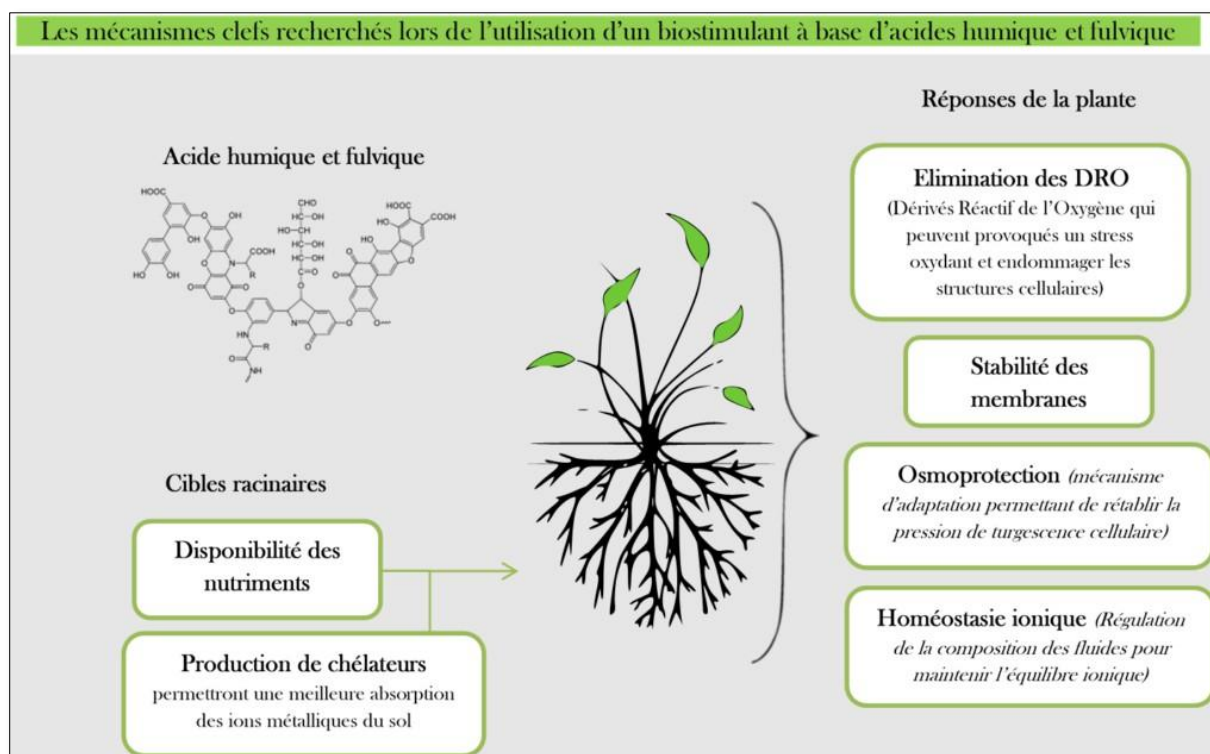
### 8.2 Substances humiques

Les substances humiques, telles que les acides humiques, les acides fulviques et les humines, sont des produits de décomposition présents dans les sols et sont considérés comme les principaux composants de la matière organique des sols (Kong *et al.*, 2018). Certaines molécules constituant les substances humiques peuvent être assimilées par les plantes et agir directement sur leurs voies métaboliques. Cependant, les fractions à faible poids moléculaire, comme l'acide fulvique, et celles à fort poids moléculaire, comme l'acide humique, semblent avoir des effets différents sur les plantes. De plus, étant donné que les substances humiques sont des mélanges complexes de différentes molécules, elles présentent une grande diversité (Hayes *et al.*, 2020).

Ils encouragent l'assimilation des ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ , etc.) présents dans le sol de différentes manières, en fonction de leur concentration dans le sol et du pH, ainsi que de l'ion en question. Ils favorisent l'activation des transporteurs d'ions dans les racines. En formant un complexe avec les ions présents sous forme libre dans le sol, ils les rendent ainsi plus accessibles aux plantes (Nardi *et al.*, 2021).

### 8.3 Stimulation de la croissance et de la photosynthèse

Certaines substances humiques peuvent améliorer la photosynthèse des cellules végétales dans certaines circonstances. Ces substances, une fois assimilées par les plantes, influent sur l'activité des enzymes impliquées dans ces processus. Les substances hormonomimétiques contenues dans les substances humiques agissent de manière directe sur la croissance et le développement des plantes, notamment sur le développement des racines (Figure. 09) (Bezuglova *et al.*, 2022).



**Figure 09 :** Mécanismes clés recherchés lors de l'utilisation d'un biostimulant à base d'acide humique et fulvique (Académie des biostimulants, 2019).

## 9. Extraits bruts d'algues

Il existe plusieurs méthodes de fabrication pour produire des extraits à partir d'une grande variété d'algues, principalement des algues brunes : *Laminaria sp.*, *Ascophyllum sp.*, *Ecklonia sp.*, etc. Les extraits bruts d'algues contiennent de nombreux composés (hormones, acides

aminés, microéléments bénéfiques non essentiels tels que le silicium ou le sélénium, sucres, etc.), ce qui entraîne un ensemble complexe de mécanismes d'action pouvant expliquer les effets observés (Górka *et al.*, 2018).

### 9.1 Amélioration de la résistance face aux stress abiotiques

L'utilisation d'hydrolysats protéiques peut renforcer les activités antioxydantes endogènes. La glycine bêtaïne et la proline agissent comme des osmoprotecteurs et stabilisent ainsi les membranes cellulaires en cas de salinité ou de températures non physiologiques. Ces deux osmolytes sont également capables de se lier aux FAO et d'induire l'expression de gènes impliqués dans les réponses aux stress abiotiques (Bulgari *et al.*, 2019)

### 9.2 Amélioration de la photosynthèse

La glycine et l'acide glutamique sont deux acides aminés essentiels pour la synthèse de la chlorophylle. Leur contribution externe favorise l'augmentation de la photosynthèse en favorisant l'ouverture des stomates, ce qui active le processus photosynthétique (Yao *et al.*, 2020).

## 10. Rôle des biostimulants

De nombreuses propriétés sont reconnues aux biostimulants.

- Stimuler de la germination des graines et ainsi améliorer la qualité de la production en condition non optimale.
- Contribuer à améliorer l'absorption des nutriments. Certains acides aminés contenus dans les biostimulants peuvent s'associer aux micronutriments, ce qui aide notamment la plante à puiser les nutriments dans des sols à pH élevé.
- Apporter une meilleure résistance aux stress abiotiques comme les variations climatiques, les carences en minéraux, une salinité excessive, la sécheresse ou encore l'excès d'eau.

Ces attributs dépendent de la composition des biostimulants (CDA, 2021).

## 11. Utilisation des biostimulants

### 11.1 Utilisation des biostimulants en Algérie

Dans le sud-est de l'Algérie, des études ont été menées pour évaluer l'impact d'un biostimulant produit par certaines souches de champignons indigènes du genre *Trichoderma* sur les performances d'une variété locale de maïs (**Lakhdari et al.**, 2020). Selon (**Donati et al.** (2022), une autre étude a étudié les effets des biostimulants organiques ajoutés à la zéolite sur des plants de courgettes infectés par le virus *New Delhi tomato leaf curl*. Cependant, en Algérie l'utilisation des biostimulants demeure restreinte en raison de leurs coûts élevés (**Lakhdari et al.**, 2020).

### 11.2 Utilisation de biostimulant dans le monde

Le secteur des biostimulants affiche une croissance annuelle d'environ 10 à 12 %. Les extraits d'algues dominent le marché, suivis des acides aminés et des substances humiques. Toutefois, les produits à base de microorganismes prennent de plus en plus d'importance dans cette industrie. La réglementation stricte de l'Union européenne en matière de sécurité environnementale et de soutien à l'agriculture biologique a ouvert la voie à un marché prospère pour les biostimulants dans des pays européens tels que l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni, l'Espagne et la France (**UE**, 2019).

Les biostimulants sont fortement associés à l'agriculture biologique et au jardinage, secteurs qui progressent également dans l'agriculture conventionnelle. Ils répondent à une demande croissante des consommateurs pour des pratiques agricoles plus durables et respectueuses de l'environnement. En réponse à la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire et à l'importance des pratiques agricoles sûres, l'industrie de l'alimentation biologique connaît une croissance exponentielle à deux chiffres (**García-Sánchez et al.**, 2022).

## 12. Types de biostimulants

Il existe plusieurs types de biostimulants qui peuvent utiliser seuls ou en apport au sol ou par pulvérisation sur les plantes et enfin être disposés en enrobage de semences à savoir :

- Les biostimulants organiques (extraits d'algues, substances humiques et fulviques, extraits de plantes, levures, acides aminés...)
- Les biostimulants microbiens (champignon mycorhize, bactéries...)
- Les biostimulants inorganiques (le silicium élément chimique présent dans le sol, les oligoéléments...) (**Wikiagri**, 2018)



# **Chapitre III : Culture Maraîchères**

### 1. L'origine

La pomme de terre est une plante annuelle originaire d'Amérique du Sud. Il a été découvert pour la première fois au Pérou en 1533 par l'Espagnol Pedro de Cieza. C'est pourquoi il a été introduit en Europe (Espagne) par des voyageurs espagnols en 1534 depuis les Andes péruviennes, où il était utilisé comme aliment par les Incas, et cultivé sous le nom de « Papa » par les moines de Séville en 1573. Dès lors, la pomme de terre va conquérir l'Europe, d'abord l'Espagne où elle prend le nom de patata, puis l'Italie où elle est appelée taratoufli, l'Irlande (pomme de terre), l'Allemagne puis la France (**Lahoul, 2015**).

La pomme de terre introduite en Espagne en XVI<sup>e</sup> siècle par les conquérants à Inca (**Daniel, 2013**) où elle prendra le nom « patata », après elle entrée en Europe à la fin de XVI<sup>e</sup> siècle à la suite de la découverte de l'Amérique par deux voies, les conquistadores espagnols en 1570 et par Bretagne en 1588, puis en Italie sous le nom « taratoufli » et en Irlande a connu sous le nom « patato » au milieu de XVII<sup>e</sup> siècle (**Amrane et al., 2018**).

En XIX<sup>e</sup> siècle, la pomme de terre a été introduite en Afrique par la colonisation espagnole et elle a été vulgarisée dans les pluparts du pays d'Afrique. En Algérie, elle a été apparue par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région (**Amrane et al., 2018**).

### 2. Description botanique

*Solanum tuberosum* est une plante vivace herbacée, dicotylédone et tubéreuse. Sa famille est les Solanacées, qui sont des plantes à fleurs, dont les tubercules contiennent de l'amidon et de la matière nutritive. (**Chebbah, 2016**). Elle cultivée en culture annuelle (**Benramdane, 2015**).

### 3. Classification botanique et taxonomie

Le nom scientifique de la pomme de terre a été donné par le botaniste suisse (**Gaspard Bauhin** en 1596, qui a été consacré par **Linné** en 1753. **Zerigui et al., 2018**) Sa classification exhaustive est présentée par (**Hawkes, 1990**).

**Règne** Métaphyses (végétaux supérieurs)

**Embranchement** Spermatophytes

**Sous-embranchement** Angiospermes

**Classe** Dicotylédones

**Ordre** Polemoniales

**Famille** *Solanaceae*

**Genre** *Solanum L*

**Espèce** *Solanum tuberosum*

#### 4. Description morphologique

La pomme de terre est un arbuste herbacé, tubéreux, à feuilles caduques, à port élevé. Elle se distingue par ses tubercules. (Zerigui *et al.*, 2018).

Elle est composée de deux parties, une partie aérienne et une partie souterraine, dont la deuxième partie c'est la plus intéressante de la plante puisqu'elle contient les tubercules qui confèrent à la pomme de terre et sa valeur alimentaire (Mariel, 2009).

#### 5. Importance de culture de pomme de terre

Denrée alimentaire de base pour la population mondiale, la pomme de terre est riche en glucides, ce qui en fait une bonne source d'énergie. Elle est en outre riche en nutriments comme la vitamine B, la vitamine C, le potassium, le phosphore et le magnésium. La pomme de terre est vitale pour le système alimentaire mondial et elle joue un rôle essentiel en consolidant la sécurité alimentaire mondiale et en faisant reculer la pauvreté.

La production durable de la pomme de terre contribue aux quatre piliers de la sécurité alimentaire : disponibilité, accès, utilisation et stabilité. Compte tenu de sa grande diversité génétique, de son mode de culture et de la demande actuelle, les travaux de recherche sur la pomme de terre et l'innovation peuvent contribuer à des systèmes agroalimentaires résilients et à atteindre l'objectif Faim zéro et les objectifs de développement durable.

L'année internationale de la pomme de terre en 2008 a permis de célébrer l'un des aliments les plus consommés et les plus appréciés à travers le monde. En décembre 2023, l'Assemblée générale des Nations Unies a approuvé la proposition faite par le Pérou d'instituer la Journée internationale de la pomme de terre, le 30 mai de chaque année.

La pomme de terre est un produit agricole stratégique pour l'Algérie, elle est l'une des principales cultures destinées à la consommation domestique. La production a augmenté entre

les années 2000 et 2019, passant approximativement de 10 millions à plus de 50 millions de quintaux. La production de la pomme de terre d'arrière-saison est assurée à mesure de 64,5 % par les wilayas d'El Oued, Ain Defla, Bouira et Mascara (**MADR**, 2019).

### **6. Les variétés de la pomme de terre**

La diversité des variétés de pommes de terre dépasse les milliers, ce qui en fait un nombre très élevé. (Figure. 10). Il y a chaque année une nouvelle variété déférente qui présente une description officielle basée sur de nombreux traits morphologiques et quelques traits physiologiques tels que la taille, la forme, la couleur, la texture, l'utilisation culinaire et le goût. (**Ait hammou et al.**, 2017).



**Figure 10** : Les différentes variétés de la pomme de terre

### **7. Exigence de la culture de pomme de terre**

Il y a trois types généraux des facteurs écologiques pour la production de pomme de terre

#### **a. Facteurs climatiques**

##### **7-1 Température**

Le gel de la pomme de terre est extrêmement sensible. Il y a une absence de végétation entre 6 et °C8. Les températures idéales pour le développement des tubercules sont de 18°C le jour et de 12°C la nuit. Une température du sol qui dépasse 25°C nuit à la tubérisation.

##### **7-2 Lumière**

L'intensité du rayonnement joue aussi un rôle dans le développement et la croissance de la pomme. La lumière joue un rôle dans l'induction de la tubérisation grâce à son action photopériode et son intensité dans l'activité photosynthétique. Les photopériodes courtes favorisent la tubérisation (moins de 12 heures) tandis que les photopériodes longues

favorisent la croissance (14 heures à 18 heures). La luminosité est directement liée à la formation de focule. Il est donc strictement interdit d'ombrager. (Bouhadjila et Bouhla, 2019)

### 7-3 Humidité

La culture de pomme de terre est originaire de la région tempérée. Elle nécessite un niveau d'humidité élevé et constant. Les pluies sont indispensables pour la plante, car 95% de l'eau absorbée par les racines se déverse dans l'air par transpiration. La pomme de terre consomme 300 grammes d'eau pour produire un gramme de matière sèche pendant une période de tubérisation intense. Il peut avoir besoin de jusqu'à 80 m<sup>3</sup> d'eau par hectare et par jour (Bouhadjila et Bouhla, 2019)

## 8. Phénologie de la pomme de terre

### 8.1. Multiplication de la pomme de terre

La pomme de terre peut être cultivée par graines, boutures ou tubercules. Dans le domaine agricole, la reproduction par semis (avec graines) est très rare, mais la graine est utilisée comme moyen de création de variétés (Benaoun et Latrache, 2021). Quand on n'a que quelques tubercules de variétés méritantes et qu'on veut obtenir, la même année, un grand nombre de nouveaux tubercules, la multiplication la plus fréquente est la multiplication.

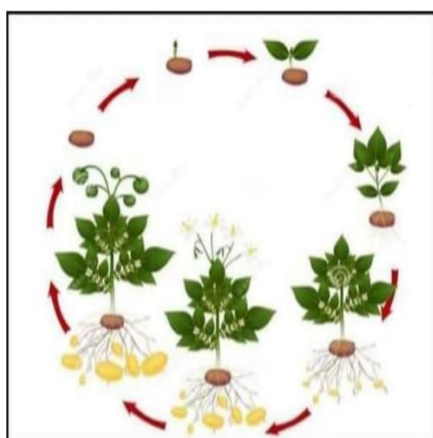


Figure 11: cycle de la vie de plante Pomme de terre (Djaafour, 2019).

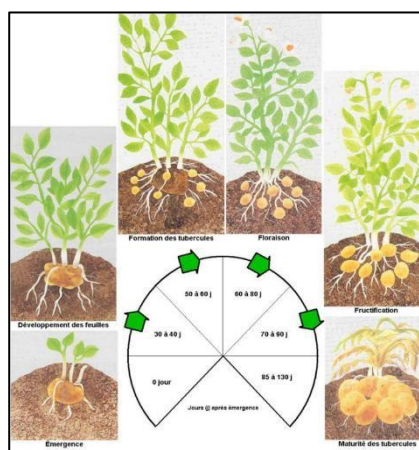


Figure 12: Stades de Développement de la de pomme de terre (Benaoun et Latrache, 2021).

## 9. Les techniques culturales de la pomme de terre

### 9.1 Plantation

La culture de pomme de terre début par la plantation. Lorsque le tubercule présente des germes bien visibles, il est le temps de la plantation. Les conditions favorables pour la plantation sont

10.1.1. Dans un sol humide : peuplement de 180000 à 220000 tiges/ha

10.1.2. Dans un sol profond et sec : peuplement de 150000 à 180000 tiges/ha

10.1.3. La distance de plantation varie en fonction de la densité recherchée. Les mécanisations de plantation sont deux :

Plantation manuelle : sur butte à l'aide de plantoir

Plantation mécanique : déposer le tubercule dans une raie et recouvert (**Dominique 2013**).

### 9.2 Fertilisation

En raison de son développement rapide, la pomme de terre exige une bonne fumure d'origine Organique et minérale (**Lahouel, 2015**).

#### A. Fumure organique

Les sols algériens sont généralement pauvres en matière organique. Or, l'humus provenant de la matière organique joue un rôle capital, il exerce en particulier :

- Une action très favorable sur la structure du sol ;
- Il accroît la capacité de rétention de l'eau.
- Il régularise la nutrition des plantes ;
- Il aide l'absorption des éléments fertilisants (**Lahouel, 2015**).

#### B. Fumure minérale

Elle a pour rôle d'assurer à la plante une alimentation correspondant à ses besoins, les apports d'engrais doivent tenir compte des quantités d'éléments disponibles dans le sol (déterminées laboratoire) et des exportations occasionnées par la culture, à titre d'information la pomme de terre exporte par tonne de tubercules en moyenne : 3,2 kg d'N, 1,6 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 6 kg de K<sub>2</sub>O, 0,4 de MgO et 0,3 kg de S. À partir de ces données, tout agriculteur doit raisonner ses apports en éléments fertilisants en fonction des rendements et du calibre qu'il compte obtenir. En pratique les quantités à apporter par hectare pour un objectif de rendement de 20 à 25 tonnes/ha sont de :

- 80 à 100 unités d'azote.
- 100 à 120 unités de phosphate
- 200 à 240 unités de potasse (**Lahouel**, 2015)

### **9.3 Irrigation**

Est un arrosage régulier pour permettre un bon rendement. La phase de tubérisation est la très sensible à l'eau. Chaque culture a besoin d'une quantité estimée :

En l'absence de pluie, irriguer la pomme de terre comme suit :

o En mode gravitaire ou aspersion, une irrigation tous les huit jours pour les sols légers et tous les 15 jours en sols lourds, et ce jusqu'à une dizaine de jours avant la récolte.

o En mode goutte à goutte, on apporte une dose moyenne de l'ordre de 1,5 litre/plant et par jour.

Une telle dose est variable en fonction du type de sol (**Chikri**, Direction de Développement des Filières de Production. Meknès. 27 Octobre 2015).

### **9.4 Désherbage**

Ce processus peut être réalisé de manière manuelle, mécanique ou chimique, en combinant une rotation méticuleuse des cultures afin de supprimer toutes les tiges, les racines malades et les mauvaises herbes. Le désherbage mécanique est la seule option lorsque les conditions climatiques ne sont pas adéquates, il a une puissance d'action considérable. (**Oudafal**, 2016)

### **9.5 Récolte**

Primeurs : Récolter la pomme de terre avant maturité complète, soit au stade << peuleux >>, c'est-à-dire lorsque le feuillage jaunit et s'affaisse.

Culture de saison (printemps- automne) : Récolter la pomme de terre à pleine maturité c'est-à-dire lorsque les fanes sont desséchées. (**Chikri**, Direction de Développement des Filières de Production. Meknès. 27 Octobre, 2015).

## **10. Maladies et ravageurs**

La pomme de terre est soumise à l'attaque de plusieurs ravageurs et maladies fongiques ou bactériennes qui affectent tout ou une partie de la plante (racines, tiges, feuilles, tubercules) pendant la phase de végétation et/ou pendant la phase de conservation des tubercules ; occasionnant par fois des dégâts importants (**Chebbah**, 2016).

### 10.1 Maladies cryptogamiques

a) Mildiou de la pomme de terre : l'ennemi juré du tubercule à l'échelle mondiale est dû à une moisissure aquatique (*Phytophthora infestans*), qui détruit feuilles, tiges et tubercules (**Boufares, 2012**).

b) Alternariose : L'alternariose est provoquée par les champignons (*Alternaria solani*) et (*Alternaria alternata*). La maladie provoque surtout des dégâts en climat continental, chaud et sec, mais est accentuée en culture irriguée.

Ses symptômes sont :

Sur feuilles : taches nécrotiques, bien délimitées, de taille variable, situées plutôt sur les feuilles du bas ; présence d'anneaux concentriques sur les taches importantes (**Boufares, 2012**).

Sur tubercules : pourritures brunes à noires, très sèches, assez typiques, avec une dépression (**Boufares, 2012**).

c) Rhizoctone noir : Il est provoqué par un champignon (*Rhizoctonia solani*), qui se développe à partir des sclérotés noirs fixés sur le tubercule mère ou présents dans le sol. Ces sclérotés constituent la forme de conservation du champignon. Les tubercules contaminés portent à la surface de petits amas noirs très durs, appelés sclérotés, qui sont très visibles sur les tubercules lavés (**Boufares, 2012**).

d) Fusariose (la pourriture sèche) : Elle est provoquée par des champignons du genre *Fusarium* notamment (*Fusarium caeruleum*).

Cette maladie peut exceptionnellement être observée dès la récolte, mais généralement, elle se manifeste en cours de conservation, provoquant la destruction du tubercule (**Boufares, 2012**).

Le tubercule et la terre contaminés véhiculent le champignon et sont ses vecteurs de propagation ; grâce à sa forme de conservation, les chlamydospores, le champignon peuvent aussi se conserver dans les locaux de conservation et sur le matériel (**Boufares, 2012**).

e) Verticilliose : deux champignons (*Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahlia*) sont responsables de cette maladie (**Boufares, 2012**).

Les symptômes en végétation s'expriment tardivement : dans un premier temps, il y a jaunissement des feuilles suivi par un flétrissement du feuillage qui se généralise ensuite à l'ensemble de la plante. Les feuilles flétries brunissent, tombent ou restent fixées à la tige qui conserve une couleur verte (**Boufares, 2012**).

L'inoculum provient du sol, de l'eau d'irrigation ou de ruissellement. L'infection peut se produire par les racines, les blessures et les germes (**Boufares, 2012**)





**Figure 13 :** Alternariose sur tubercules et Alternariose sur feuilles (**Chabbah, 2016**)

### 11. Insectes et ravageurs

- Teigne (*Phthorimaea operculella*).
- Pucerons (*Mysuspersicae*, *Aulacorthum solani*, *Macrosiphum euphorbiae*)
- Noctuelles (*Spodoptera littoralis*, *Spodoptera exigna*).
- Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*).
- Nématodes Nématodes Gallicoles (*Meloidoyne spp*) (**Boufares, 2012**).



• **Figure 14 :** Pucerons, Teigne et Nématodes (**DAG, 2018**).

## 12. La tomate

La tomate est le légume le plus consommé au monde après la pomme de terre (**Statistiques FAO, 2010**). Elle est cultivée sous toutes les latitudes et ses fruits sont consommés frais ou transformés (**Chaux et Foury, 1994**).

Selon les données de la FAO, 186 821 millions de kilos de tomates ont été produits dans le monde en 2020, sur une superficie de 5 051 983 hectares. Le volume de tomates produites a augmenté de 3,35 % par rapport à l'année précédente, passant de 180 766,33 millions de kilos en 2019 à 186 821,22 millions de kilos produits en 2020.

La superficie dédiée à la production de tomates en 2020 était de 5 051 983 hectares, avec un rendement moyen par mètre carré de 3,71 tomates, contre 3,59 kg/m<sup>2</sup> en 2019.

Les plus grands producteurs mondiaux au cours de l'année analysée, la Chine a produit 34,67% de la production mondiale totale de tomates. En effet, la Chine est le 1er producteur mondial de tomates avec 64 768,16 millions de kilos. La superficie que la Chine a dédiée à la production de tomates en 2020 était de 1 107 485 hectares, avec un rendement au mètre carré de 5,85 kilos. Le 2e producteur mondial est l'Inde avec 20,573 millions de kilos de tomates produites en 2020, sur une superficie de 812 000 hectares et un rendement de 2,53 kg/m<sup>2</sup>.

La Turquie occupe la 3e place mondiale, avec un volume de 13 204,01 millions de kilos, une superficie de 181 879 hectares et un rendement de 7,26 kg/m<sup>2</sup>. La 4e place est occupée par les États-Unis avec 12 227,4 millions de kilos, 110 439 hectares et un rendement de 11,07 kg/m<sup>2</sup>. La 5e place revient à l'Égypte avec 6 731,22 millions de kilos de tomates, cultivées sur 170 862 hectares avec un rendement moyen de 3,94 kg/m<sup>2</sup> les récoltes sont principalement réalisées sous serres, les cultures de plein champ restant minoritaires). En 2017, la production mondiale de tomates fraîches était d'environ 182 millions de tonnes et la superficie cultivée était estimée à 4,84 millions d'hectares (**FAO, 2019**).

La plante est cultivée sous serre et en plein champ sur environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près d'un tiers de la superficie mondiale des cultures maraîchères. Les pays méditerranéens sont propices à la consommation en toutes saisons (**Benkamoun, 2009**)

En Algérie, la tomate occupe une place importante comme aliment très apprécié. En 2017, la production de tomates du pays a atteint le chiffre impressionnant de 1,2 million de tonnes, selon la **FAO (2019)**. Ce montant représentait plus de 80 % de la demande du marché intérieur, soit une augmentation substantielle par rapport à la couverture de 50 % signalée en 2014 (**APS, 2015**).

La tomate, comme toute autre culture, est confrontée à des risques liés à la fois aux

organismes vivants et à des facteurs environnementaux qui peuvent avoir des effets néfastes sur la productivité des agriculteurs. Les recherches menées par (**Berkani, Badaoui (2008) et Ghelamallah**) mettent en évidence l'impact significatif que les dommages causés à la culture de tomates peuvent avoir sur la production mondiale. Il est donc crucial d'entreprendre des recherches approfondies examinant divers facteurs comportementaux, écologiques et environnementaux qui influencent le cycle de croissance de la tomate. (Produits dans le monde en 2020 **FAO**)

### **13. Importance économique de la tomate**

La consommation par individu, que ce soit en tomates fraîches ou transformées, ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale. Les pays méditerranéens sont de gros consommateurs, et cela en toutes saisons. En France, la consommation de tomate fraîche est de l'ordre de 13 kg/personne/an, celle sous forme de produits transformés atteignant l'équivalent de 22 kg en équivalent tomate fraîche. Ces chiffres, communiqués par le centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), sont basés sur la production nationale, en y intégrant les importations et les exportations. Il est vraisemblable que la demande en tomates continuera à augmenter, du fait de l'accroissement des populations humaines et de la durée de conservation qui permet un transport à longue distance, de la diversification des types variétaux et des changements alimentaires qui orientent le consommateur vers des produits tels que ce légume

### **14. Description Botanique**

La tomate est originaire de la région des Andes en Amérique du Sud. Son centre de domestication reste à l'heure actuelle fortement débattu, et les hypothèses étudiées présentent deux origines probables ; une prédomestication au Pérou complétée par une domestication complémentaire au Mexique (**Blanca et al., 2015**). Dès son introduction en Europe au 16<sup>e</sup> siècle, la tomate a été classée comme appartenant au genre *Solanum*. En 1753, Linné classe pour la première fois les tomates sous l'appellation *Solanum lycopersicum* mais ce nom fera l'objet de nombreux débats au cours de l'histoire, jusqu'à ce que des études moléculaires récentes valident son appartenance à la famille des Solanacées (**Bergougnoux, 2014**). La famille des Solanacées contient environ 3000 espèces parmi lesquelles, la belladone, la pomme de terre, le tabac, le poivron, l'aubergine et la tomate (soit de nombreuses espèces d'intérêt économique)

### 15. Classification (botanique)

La classification taxonomique de la tomate est illustrée dans le tableau 02

**Tableau 02** : Classification taxonomique de la tomate

Classement	Nom scientifique	Nom courant
<b>Règne</b>	Végétal ( <i>Plantae</i> )	Plantes
<b>Sous-règne</b>	<i>Tracheophyta</i>	Plantes vasculaires
<b>Superdivision</b>	<i>Spermatophyta</i>	Plantes à graines
<b>Embranchement</b>	Angiospermes	Plantes à fleurs
<b>Classe</b>	<i>Magnoliopsida</i>	Dicotylédones
<b>Sous-classe</b>	Asteridae	Astéridées
<b>Ordre</b>	Solanales	
<b>Famille</b>	Solanaceae	Solanacées
<b>Genre</b>	<i>Solanum</i>	
<b>Espèce</b>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate

**Reference:** Encyclopedia.com. (2020). **Miller, Phillip.**

### 16. Cycle phénologique de la tomate

Le cycle complet de la tomate s'étend en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis jusqu'à la dernière récolte, à savoir 7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit **Gallais et Bannerot** (1992). Le cycle de développement d'un plant de cette espèce peut être décrit par trois grandes phases biologiques :

- \_ La phase végétative qui correspond à la production phénologique exclusive d'organes végétatifs (feuilles et tiges) et elle comprise entre la levée et l'apparition de la première inflorescence.
- \_ La phase reproductive qui correspond à la période de production des fleurs et des fruits et qui démarre à la floraison pour s'achever à la fin de la culture.
- \_ La phase de maturation des fruits qui démarre sept à dix jours avant la récolte des premiers fruits et se termine à la récolte **Atherton et Rudich** (1986) ; **Huat** (2008).

### 17. Écologie de la tomate

#### a. Les exigences climatiques

D'après **Chaux** (1994), on peut identifier trois éléments fondamentaux qui jouent un rôle variable à différentes étapes du développement : la température de l'air et du sol, l'intensité et la durée de l'éclairage, ainsi que l'humidité de l'air.

### 17.1 Température

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide. La tomate est une plante qui a besoin de beaucoup de chaleur pour assurer le cycle complet de sa végétation et qui peut surmonter un certain intervalle de températures, mais en dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés (Naika *et al*, 2005). La germination des graines est optimum pour des températures comprises entre 18 et 24°C.

**Tableau 03** : Exigences de la culture de tomate en température, luminosité et hygrométrie (Laumonier,1979)

	T° du sol	T° atmosphérique		Luminosité (lux)	Hygrométrie Relative (%)
		Jour	Nuit		
Croissance	15-20°C	18-20°C	15°C	1000-12000	70-80
Floraison	20-25°C	22-25°C	13-17°C	Très élevé	65-80
Fructification	20-25°C	25°C	18°C	5000/16h/JOUR	60-70

### 17.2 La lumière

Comme pour tous les végétaux, le développement et la production de la tomate dépendent largement du rayonnement solaire reçu par la plante. Cette énergie agit en particulier sur la transpiration et la photosynthèse, cette dernière permet à la plante, à partir du gaz carbonique prélevé dans l'air et de l'eau puisée dans le sol, de synthétiser des sucres ou assimilât, base de la matière sèche. L'intensité de la photosynthèse est fonction de la quantité d'énergie reçue et de l'interception de cette lumière par le feuillage. Elle est influencée par la température, la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air et l'ouverture des stomates (Navez,2011).

### 17.3 L'humidité

Le taux d'humidité relative idéal pour les tomates en serre est de 60 à 70 %, ce qui favorise la production de fruits de bonne taille et réduit les risques de gerçures. Une humidité relative élevée pendant la journée favorise la croissance en général et peut également améliorer la nouaison. Cependant, une humidité trop élevée, mal contrôlée, peut entraîner une

condensation d'eau sur les plantes et favoriser le développement de maladies. Pendant la germination, l'humidité atmosphérique doit être de 76 %, puis de 70 à 80 % pendant l'élevage des plants et le développement des fruits (**Benchaala**, 1983).

### **18. Variétés de Tomate en Algérie**

Il existe plusieurs variétés maraichères en Algérie

- Les variétés fixées dont les caractéristiques génotypiques et phénotypiques se transmettent pour les générations descendantes où on peut citer les plus utilisées en Algérie telles que : La Marmande, La Sainte Pierre et Aicha.
- Les Hybrides qui du fait de l'effet Hétérosis, présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêt (bonne précocité, bonne qualité de résistance aux maladies et aux attaques parasitaires et donc bon rendement). Ces hybrides ne peuvent être multipliés vu qu'ils perdent leurs caractéristiques dans les descendances ; les plus utilisés en Algérie : Actana, Agora, Bond, Nedjma, Tafna, Tavira, Toufan, Tyeron, Zahra, Farouna, Top 48, Zeralda, Suzana, Zigana et Joker.

Pour la tomate industrielle

- Les variétés les plus utilisées sont : Rio Grande (80%)- Roma- Elgon - Universalmech-Castlong- Heintz- Pico De Aneto - Roma Vf.
- Les Hybrides : Zenith et Sabra. Toutes les variétés actuelles sur le marché sont pour la plupart des variétés fixées et peu d'hybrides (**Senoussi**, 2010).

### **19. Principales maladies et ravageurs de la culture de tomate**

Il convient de souligner que la prise en compte des maladies et des ravageurs dans la gestion des cultures est un facteur essentiel pour assurer une production économiquement viable, respectueuse de l'environnement et surtout de la santé humaine (**Blancard**, 2009). Même avec l'utilisation de variétés hybrides résistantes, la tomate reste toujours vulnérable aux attaques biotiques (**AYAD**, 2017).

#### **19.1 Maladies cryptogamiques**

Plusieurs maladies fongiques s'attaquent à la tomate et peut causer parfois des dégâts très importants, parmi lesquelles on cite en première position le mildiou, suivi par l'alternariose et la fonte de semis (Tableau 04). Ces dernières années, ces 3 espèces sont souvent notées dans la région de : **Souf Mennai**(2019).

**Tableau 04** : Les maladies cryptogamiques de la tomate (Snoussi, 2010)

Maladies	Agent causal	Symptôme et dégâts
Alternariose	<i>Alternaria tomatophila</i>	Taches noires de taille variable sur les feuilles.
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	Grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges.
Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i>	Feuillage gris sur les feuilles et sur les fruits

### 19.2 Maladies bactériennes

La culture de la tomate comme les autres cultures maraichères est exposée au pas mâle des maladies bactériennes (Tableau 05). Ces dernières sont généralement moins fréquentes dans la région de Souf contrairement aux maladies fongiques Mennai (2019).

**Tableau 05** : Les maladies bactériennes de la tomate (Snoussi, 2010)

Maladies	Agent causal	Symptôme et dégâts
Moelle noire	<i>Pseudomonas corrugata</i>	Tige molle colorée en brun.
Chancre bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i>	Jaunissement, enrroulement et flétrissement aux bordures les feuilles. Jaunissement de la moelle en bordure desvaisseaux sur les tiges. La tige se fend.
Gale bactérienne	<i>Xanthomonas spp.</i>	Taches nécrotiques noires sur les feuilles etsur les fruits.
Flétrissement bactérien	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Flétrissement de la plante. Les racines et les parties basses de la tige

### 19.3 Les maladies virales

La tomate est très sensible aux maladies virales. Un virus est un pathogène sub microscopique une structure de protéines que l'on ne peut pas discerner à l'œil nu. Il est souvent propagé dans la culture par des insectes vecteurs comme les mouches blanches, les thrips et les pucerons. Les dommages provoqués par ce virus sont généralement bien plus importants que les blessures physiques causées par l'insecte vecteur (Boudissa, 2020).

## 20. Principaux ravageurs de la tomate

Les insectes phytophages sont par définition le premier groupe potentiel de nuisibilité sur la tomate (Tableau.6). Ils peuvent s'attaquer à des parties bien précises ou à toutes les parties **Charlotte** (2014). Parmi les ravageurs les plus redoutables dans la région de Souf et un peu partout dans le monde, il y'a la fameuse mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*), à laquelle s'ajoute la mouche blanche (*Trialeurodes vaporariorum*), le tétranyque tisserand (*Tetranychus urticae*) **Mostefaoui** (2017).

**Tableau 06** : Les principaux ravageurs de la tomate (**Snoussi**, 2010).

Ravageur	Ordre	Symptôme et dégâts
La mineuse de la tomate ( <i>T.absoluta</i> ) ( <b>Guenaoui</b> , 2008).	Lépidoptère	Feuilles perforées de long en large et larges et forme des galeries grises ou blanches.
La mouche blanche (Aleurode) <i>Trialeurodes</i> <i>vaporariorum</i> ( <b>Westwood</b> , 1856)	Hemiptère	Taches jaunes sur les feuilles. Feuilles s'enroulent sur elle-même. Transmission des virus TYLCV.
L'acarien rouge <i>Tetranychus</i> <i>urticae</i> <b>Koche</b> ,1836).et <b>T .cinnabarinus</b> ( <b>Boisduval</b> , 1867).	Trombidiformes	La face inférieure des folioles devient brune à bronzée sur fruit, la peau présente des craquelures.



# **Partie Experimentale**

# **Matériels et Méthodes**

### 1. Objectifs de travail

Dans ce travail nous avons basé sur l'utilisation d'un biostimulant à base d'une plante aquatique (Azolla), sans effet nocif sur l'environnement, afin de comparer et d'évaluer l'impact des différents stimulants naturels sur les cultures maraîchères telles que la culture de la tomate et de la pomme de terre ainsi de suivre le développement de ces cultures dans des conditions naturelles au niveau ferme expérimentale de l'Université, durant la période allant du 13 mars 2024 au 13 juin 2024.

### 2. Zone et durée de l'expérience

L'expérience a été conduite dans deux bassins distincts, établis entre mars et juin 2024, sur une parcelle d'Université Abdelhamid IbnBadis Mostaganem. La période totale de l'expérimentation, incluant le suivi des paramètres de croissance, a duré quinze semaines

### 3. Situation géographique de la station expérimentale.

L'étude a été réalisée au laboratoire de Physiologie animale appliquée, situé sur le campus universitaire II INÈS de Mostaganem, qui dispose d'une ferme expérimentale située dans la commune de Mazagran. Cette ferme, utilisée comme centre d'apprentissage pratique, comprend des installations pour la production animale (bovins, ovins, volailles, abeilles) et végétale. La figure ci-dessous, provenant de Google Earth, montre l'emplacement précis de la ferme expérimentale d'université.



**Figure 15 :** Situation géographique de la ferme expérimentale de l'ITA (Google Earth 2024)

### 4. Matériel utilisé

#### 4.1. Matériel végétal

L'espèce de l'Azolla cultivée est *L'Azolla pinnata* (Figure 16.). La plante est issue d'une unité de production d'Azolla au niveau de la wilaya de Chlef (oued sli), la plante a été récoltée au printemps et elle a été transférée vers ferme de Hassi Mameche en 24 h.



**Figure 16 :** L'Azolla pinnata (photo originale 2024)

#### 4.2 Matériel de mesure

Le matériel a été utilisé pour effectuer un suivi des différents paramètres est le suivant (Figure 17.)

Un filtre

- Une bassine



**Un filtre**



**Une bassine.**

**Figure 17 :** Le matériel utilisé durant l'expérience (originale 2024)

### 5. Protocole expérimental

#### 5.1. Première partie

##### ➤ préparation du terrain

La parcelle où la mise en place des bassins a été effectuée a été fauchée (Figure 18.), cette étape est importante, car l'herbe peut compromettre l'expérience en trouant la bâche causant ainsi une fuite d'eau. Afin d'éviter cela, après la fauche, il est préférable d'utiliser des cartons sur la surface délimitée des



**Figure 18** : Délimitation des bassins (photo originale 2024)

##### ➤ Construction et préparation des bassins

La construction des bassins a été réalisée selon les étapes suivantes

Délimitation de la taille des bassins voulue (Figure 19), les bassins ont chacun 2 m de largeur, 3m de longueur, 0.20 m de profondeur une superficie de 6 m<sup>2</sup> soit une superficie totale de 12 m<sup>2</sup> en additionne deux bassins .



**Figure 19** : La parcelle avant et après la fauche (photo originale 2024)

## **Matériels et méthodes**

---

La mise en place des briques qui fera office de support pour délimiter les bassins, la brique

## Matériels et méthodes

---

mesure 10 cm de largeur, 30 cm de longueur et 20 cm de hauteur. Au total 35 briques ont été utilisées pour la construction des deux bassins .

Une fois que le placement des briques a été effectué et que les contours des bassins ont été formés, des saches ont été placés à la surface des bassins (Figure 20). La parcelle étant couverte d'herbes auparavant, il y a un risque que l'herbe repousse, bloqueront son élongation avec le poids de l'eau à l'intérieur du bassin. Ils diminuent aussi le risque de déchirure de la bâche.

Mise en place d'une bâche verte (Figure 21). Avant de mettre la nouvelle bâche verte pour couvrir le bassin et former un bassin étanche, une bâche ancienne a été mise pour limiter le risque de fuite d'eau. Au total 12 mètres carrés de bâche ont été utilisés pour couvrir les bassins.



**Figure 20** : Mise en place des bâches étanches (photo originale 2024)

Du sol a été ajoutée par la suite pour couvrir toute la surface des bassins avec une hauteur de 5 cm (Figure 22). L'Azolla pourra absorber les éléments nutritifs qui y sont présents.



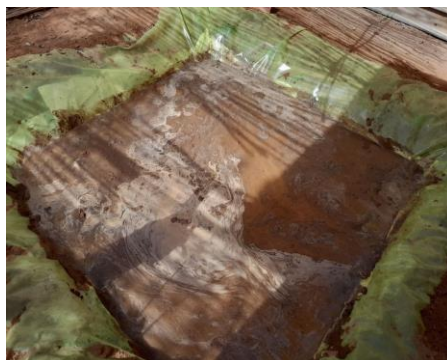
**Figure 21** : Ajout d'une couche de sable à l'intérieur des bassins (photo originale 2024)



## Matériels et méthodes

---

Une fois que la bâche a été placée, un remplissage des bassins avec de l'eau a été effectué (Figure 22). En période de chaleur, il est indispensable de surveiller les bassins en cas de forte évaporation et ainsi ajouter de l'eau ce qui empêchera l'assèchement des bassins. Ceci permettra aussi le renouvellement de l'oxygène. La hauteur d'eau utilisée est de 10 cm .+ Source de l'eau : eau du robinet.



**Figure 22 :** Remplissage des bassins avec de l'eau (photo originale 2024)

La mise en place des quatre bassins a suivi un protocole spécifique. La première étape a consisté de sélectionner un emplacement approprié pour les bassins. Des critères tels que la disponibilité de l'ombre ont été pris en compte, étant donné leur importance pour le développement optimal de l'Azolla. Un toit en canne (figure 23) a été utilisé pour assurer un équilibre entre l'ombre et l'exposition au soleil (50% d'ombre, 50% de rayons solaires) conditions favorables à la croissance de l'azolla.



**Figure 23 :** Couverture en bois (photo originale 2024)



### 5.2 Deuxième partie

#### ➤ plantation de l'Azolla dans les bassins

La plantation de l'Azolla est l'étape suivante, 1 kg d'Azolla couvre 1 m<sup>2</sup> de la surface d'un bassin. Afin de protéger les deux bassins. Chaque étang a reçu 6 kg d'Azolla, ce qui représente une quantité totale de 12 kg. Lorsqu'on souhaite planter l'Azolla, il sera nécessaire de prendre une touffe et de la froter entre les mains avant de la placer à la surface de l'eau. Le frottement permettra à la plante de se briser et de croître rapidement. (Figure 24). On répète cette procédure jusqu'à ce que toute la quantité soit drainée.

Les mêmes étapes ont été effectuées dans le deuxième bassin



**Figure 24 :** Plantation de l'Azolla (photo originale 2024)



**Figure 25 :** Vue globale des bassins après la plantation de l'Azolla  
(photo originale 2024)

Après avoir planté l'Azolla, il faudra la laisser s'adapter au nouveau milieu. Quand l'Azolla est transférée dans un autre milieu, celle-ci perd ses anciennes racines et des nouvelles vont repousser par la suite. La période d'adaptation varie entre 10 et 15 jours. La fin de cette phase s'accompagne avec l'apparition des racines de couleur marron.

- L'Azolla nécessite une solution nutritive pour une croissance et une multiplication optimale. Pour cet essai la solution nutritive utilisée est le purin de bouse de vache et cheval (Figure 30). La solution nutritive a été préparée pour chaque bassin. Dans un seau de 20 L d'eau et 5 kg de bouse de vache ont été mis à l'intérieur, elles ont été mélangées, ensuite le mélange obtenu a été laissé reposer pendant 24 h avant de passer à l'utilisation de la solution. La solution nutritive obtenue est filtrée et versée de manière homogène à l'intérieur des bassins.
- Pour chaque bassin 5 L de solution nutritive ont été ajoutés une fois par semaine

### 6. Déroulement de l'expérience

#### 6.1 Suivi de la récolte

Pour la récolte, elle a été faite une fois par semaine pour chaque bassin, et ce durant 4 semaines. Le séchage est fait en laissant l'Azolla récoltée sous en plein air durant 48h. Le suivi du rendement / 6 m<sup>2</sup> : cela a été réalisé en mettant en place dans le bassin numéro deux cadres ayant chacun 6 m<sup>2</sup>, pour ce fait, 3kg d'Azolla ont été planté dans les deux (figure 26)



**Figure 26** : La Première récolte d'Azolla (photo originale)

### 6.2 Séchage d'Azolla

Suite à la récolte de l'Azolla, nous avons procédé à une étape cruciale : le séchage. Cette phase est essentielle pour préserver la qualité de l'Azolla et prolonger sa durée de conservation voir (figure 27). Pour ce faire, nous avons opté pour une méthode de séchage naturelle, en exposant l'Azolla à l'air libre tout en la protégeant des rayons directs du soleil. L'Azolla a été étalée sur un tissu, créant ainsi une surface plane et aérée, propice à une évaporation efficace de l'humidité. Au cours d'une période de 3 à 4 jours, nous avons surveillé attentivement le processus de séchage, veillant à ce que l'Azolla perde son excès d'eau tout en conservant ses nutriments essentiels.

Le séchage à l'air libre est une méthode couramment utilisée pour préserver les propriétés nutritionnelles de l'Azolla. Cette technique, bien que simple, nécessite une attention particulière pour garantir que l'Azolla ne soit pas surexposée aux éléments, ce qui pourrait compromettre sa valeur nutritionnelle. En somme, le séchage est une étape délicate, mais indispensable dans le processus de préparation de l'Azolla pour une utilisation ultérieure.



**Figure 27** : Séchage d'Azolla (photo originale)

### 6.3 Suivi de rendement d'Azolla

La solution nutritive résultante a été déversée uniformément dans les bassins. (Figure 28)

Dans chaque bassin, 5 L de solution nutritive ont été versés une fois par semaine



**Figure 28 :** Ajout de la solution nutritive (photo originale)

Chaque semaine, un suivi précis de la croissance et de la productivité de la culture. Cette approche hebdomadaire a permis de surveiller de près les variations de croissance, qui peuvent être influencées par divers facteurs environnementaux tels que la température, la lumière et la disponibilité des nutriments. Après chaque récolte, l'Azolla était soigneusement pesée pour quantifier le produit. (figures 29 ).



**Figure 29 :** Multiplication d'Azolla (photo originale).

### 7. Matériels biologiques

La formulation d'un biostimulant est un processus complexe qui requiert une connaissance approfondie des propriétés des différents composants et de leurs interactions. Elle vise à optimiser l'efficacité du produit en fonction de son mode d'action et de l'objectif recherché. Les biostimulants peuvent être composés d'extraits de plantes, d'algues, de micro-organismes, d'acides aminés, d'humus ou d'autres substances naturelles. La formulation prend en compte des facteurs tels que la solubilité, la stabilité, la biodisponibilité, la compatibilité avec d'autres produits et les conditions d'application. L'objectif est de créer une formulation stable, homogène et facile à utiliser, qui libère les substances actives de manière contrôlée et optimale pour la plante.



**Figure 30** : préparation d'un extrait (photo originale)

### 8. Préparation du lit de transplantation

Un mois avant la plantation, un labour profond a été appliqué afin de bien préparer le sol pour la culture du Pomme de terre et la tomate, un labour superficiel, une installation du système d'irrigation ...etc.

#### 8.1 Labour profond

Le labour profond agricole est une technique de préparation du sol qui consiste à retourner les couches de terre à une profondeur significative, souvent entre 30 et 50 centimètres. Cette méthode permet d'améliorer la structure du sol en brisant les couches compactées, facilitant ainsi la pénétration des racines et l'infiltration de l'eau.





**Figure 31 :** Les billons du sol (photo originale)

### 8.2 Installation du système d'irrigation

Un système d'irrigation localisé par (gravatière) a été adopté (Figure 32). Une Pré irrigation a été effectuée avant toute opération afin d'assurer un terrain propice au produit appliqué (biostimulant)



**Figure 32 :** Installation du système d'irrigation (photo originale)



### 9. La transplantation

La transplantation de la tomate et de la pomme de terre a été effectuée le 13/03/2024, après la préparation du lit de plantules, à raison de 10 plantes /parcelle réparties en 8 lignes/parcelle, avec une distance de 40cm entre les sujets et 50cm entre les lignes (Figure 34)



**Figure 34** : La transplantation de deux cultures (photo originale)

### 10.1 Conduite et entretien de la culture

Des travaux d'entretien nécessaires à la culture ont été effectués aux différents stades de développement de la culture, à savoir :

- Irrigation 2 fois/semaine irrigation par roue pendant 30 min intervalle 1 jour
- Désherbage Manuel a été effectué afin d'éviter toute concurrence des plantes Adventices, car aucune utilisation des produits chimique n'a été menée ;
- Binage pour garder l'humidité du sol.

### 10. Paramètres morphologiques

Les paramètres ont été mesurés pour chaque traitement dans les parcelles témoins et traitées (par le biostimulant) a été fait aléatoirement (Figure 35) afin d'étudier la réponse stimulatrice des plants tomate avec la pomme de terre au biostimulant testé.





**Figure 35 :** Mesure de la longueur et de la tige la tomate et nombre des talles de pomme de terre (photo originale)

Des mesures quantitatives sur la longueur et les nombres des talles des plants ont été réalisées à l'aide d'un pied à coulisse, un mètre ruban et une règle (Figure 37). Aussi, d'autres paramètres ont été pris à savoir le nombre des fleurs et fruits, et des talles ainsi que l'espace entre-nœuds.



**Figure 36 :** Mesure de la longueur et nombres des fleurs et fruits tomate (photo originale)

### 11. Modalités d'application du biostimulant

Méthode d'application où le biostimulant est dilué dans de l'eau et projeté sous forme de fine brume directement sur les feuilles de la plante. Cette technique permet une absorption rapide des nutriments et des composés bioactifs à travers les stomates, de petits pores présents sur la surface des feuilles. La pulvérisation garantit que le biostimulant atteigne les zones clés de la plante pour une efficacité optimale.

Pour réaliser le traitement, nous avons utilisé

✓ Un pulvérisateur : pour pulvériser les plantes par le biostimulant



**Figure 37 :** Application du biostimulant sur la culture de tomate et pomme de terre par pulvérisation (photo originale)

Les modalités d’application de ces traitements sont affichées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 7 :** Modalités d’application des traitements du biostimulant sur la culture de la tomate et pomme de terre

<b>Dates application</b>	<b>Stade de développement de laPlante</b>	<b>Conditions météorologiques</b>	<b>Méthode d’application</b>
Un mois après la plantation 24 avril 2024	Après la transplantation	21°C° 20%	Par pulvérisation
<b>Stade végétatif</b>			
15 /05/2024	Stade de floraison	27 C° 56%	
<b>Stade Apparition des fleurs</b>			
30/05/2024	Stade final (fleurs et fruits)	25 C ° 54%	

Le 03.07.2024, trois échantillons ont été prélevés dans chacune des parcelles. Ce deuxième échantillonnage de sol, qui eut lieu après récolte, avait pour but de doser les éléments majeurs et les éléments traces métalliques présents dans le sol après

## **Matériels et méthodes**

---

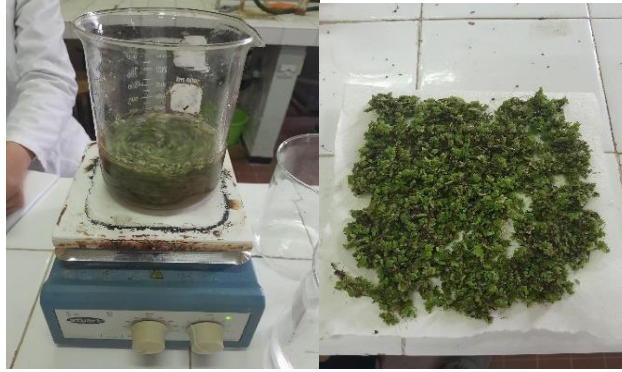
traitement. Pour chaque terrain, deux carottes de sol furent prélevées à deux endroits au sein de chaque parcelle, à l'aide d'une tarière





## 12. Test de germination

### 12.1 Préparation de l'extrait d'Azolla



**Figure 39 :** Lavage d'azolla et agitation (photo originale)

### 13. Expérience de germination



**Figure 40** : Trempage des graines pendant 12 heures

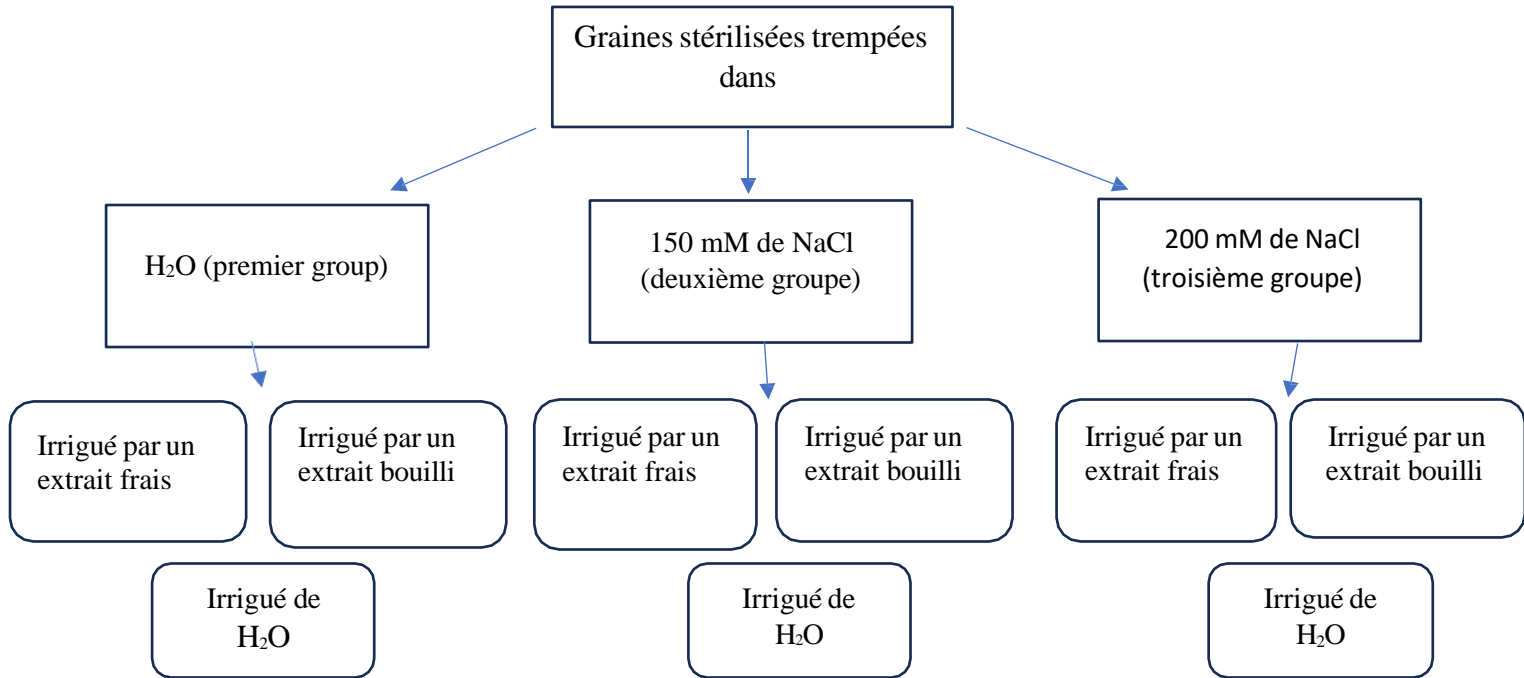
Après trempage, vingt-cinq graines de chaque groupe ont été incubées à 25 °C dans des boîtes de Petri sur papier filtre avec 5 ml d'eau distillée (comme contrôle).



**Figure 41** : Les graines dans des plats (photo originale)

## Matériels et méthodes

Le pourcentage de germination, ont été mesuré après cinq jours de germination, le pourcentage de germination (%), longueur de la tige et la longueur de la racine (cm du (Abdul-Baki *et al.*, 1973) :



(Kaymakanova, 2009)

**Figure 42** : Test de germination



### 14. Prélèvements d'échantillons du sol

Le 22.02.2024, trois échantillons par site furent prélevés, entre les parcelles comme indiquées sur (Figure 43). Cet échantillonnage de sol avait pour but de doser les éléments majeurs et les éléments traces métalliques présents dans le sol avant traitement (temps  $t_0$ ). A chaque point, trois carottes de sol furent prélevées à l'aide d'une tarière, puis déposées dans un sachet pour y être homogénéisées.



**Figure 43** : prélèvement d'échantillon (photo originale)

Les échantillons sont transférés à laboratoire de l'institut national des sols de l'irrigation et drainage qui situé à elmatmer wilaya de Relizane

#### 14.1 Analyses physico-chimiques de sol

L'analyse physico-chimique comporte en général une analyse de la granulométrie (argiles, limons et sables), du pH, de la capacité d'échange cationique et de la teneur en différents éléments : carbone organique, azote total, calcaire, phosphore, potassium, calcium, sodium. Cette analyse permet de caractériser les potentialités du sol en termes de réserve en eau et en éléments nutritifs. Les teneurs en éléments servent de base aux calculs du chaulage, des fumures de fond (phosphore et potassium) et des apports d'oligo-éléments. Les échantillons du sol ont été broyés, tamisés à 2 mm et conservés dans des tubes en plastique pour mesurer les paramètres.

## 14.2 Paramètres étudiés

### a. pH

L'acidification des sols est un phénomène courant en agriculture, car il influence directement la "fertilité" des sols cultivables. Bien que ce processus soit d'origine naturelle, il peut être accéléré par les activités humaines, telles que la pollution atmosphérique et l'utilisation d'engrais (Benmezroua, 2014). Le pH du sol joue un rôle crucial dans la dynamique des éléments nutritifs, influençant particulièrement les propriétés chimiques du sol. La mesure du pH consiste à évaluer la force électromotrice d'une solution aqueuse de sol, généralement réalisée avec un rapport eau/sol de 2,5, à l'aide d'un pH-mètre (Belhacini, 2011)



Figure 44 : pH-mètre (photo originale)

### b. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm  $\Omega$ ) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques, augmentent. En science du sol, la conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho.cm ou dS.m (mmho= milimho, S= siemens ) a une température de 25°C (Mathieu *et al.*, 2003).

- La mesure de la conductivité électrique de l'extrait dilué au 1/5(CEd<sub>1/5</sub>) exprimée en dS.m<sup>-1</sup>, a été effectuée avec un conductimètre, avec un rapport Soleau de 1/5(norme ISO :11265)



**Figure 45** : conductimètre (photo originale)

### c. Capacité d'échange cationique

On appelle capacité d'échange cationique du sol (CEC) l'ensemble des sites électronégatifs susceptibles de fixer, à un pH déterminé et de façon réversible, des anions échangeables. La CEC est toujours exprimée en  $\text{cmolc kg}^{-1}$  de sol. Elle correspond pratiquement à la quantité maximale de cations pouvant être retenus sous forme échangeable (Aldja, 2016). La capacité d'échange des cations est très variable dans les sols : de 1 à 5  $\text{cmolc kg}^{-1}$  en sol sableux jusqu'à 60 à 80  $\text{cmolc kg}^{-1}$  en sol argileux et humifère. Au plan agronomique, on considère qu'une CEC  $< 10 \text{ cmolc kg}^{-1}$  est très faible, qu'entre 10 et 15  $\text{cmolc kg}^{-1}$  elle est faible, moyenne entre 15 et 20  $\text{cmolc kg}^{-1}$ , élevée entre 20 et 25  $\text{cmolc kg}^{-1}$  et très élevée lorsqu'elle est  $> 25 \text{ cmolc kg}^{-1}$  (Chamayou et Legros, 1989).

### PRINCIPE

Les étapes nécessaires pour déterminer la C.E.C (elles sont identiques à tous les sols).

A- Étape de saturation.

B- Étape de lavage.

C-étape de déplacement



**Figure 46** : Mesure de capacité d'échange cationique (photo originale)

### d. CaCO<sub>3</sub> calcaire total

Le calcaire est un élément particulièrement important dans le sol, il se trouve sous diverses formes (grains grossiers et durs, particules fines). Le dosage du calcaire a été effectué par la méthode volumétrique à l'aide du Calcimètre de Bernard (Moussaoui, 2016).

#### Principe

Le calcaire à base de carbonate de Calcium ; CaCO<sub>3</sub> (poids moléculaire=100) est décomposé par l'acide chlorhydrique (HCL) (norme ISO 1093) On mesure le volume de CO<sub>2</sub> (P.M.=44) obtenu et on calcule le poids.  $100 \text{ g de CaCO}_3 + 2 \text{ HCL} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$



**Figure 47** : Calcimètre de BERNARD (photo originale)

### e. Dosage calcaire actif CaCO<sub>3</sub>

Contrairement à la détermination du calcaire total, qui repose sur une réaction violente et complète, la mesure du calcaire actif implique une réaction plus modérée, ciblant uniquement

les particules calcaires les plus fines ou la surface des particules plus grossières. C'est pourquoi il est essentiel de respecter les conditions conventionnelles d'agitation lors de cette procédure. Pour le dosage du calcaire actif, on utilise la capacité du calcium à se combiner avec les oxalates pour former de l'oxalate de calcium insoluble (**Drouineau, 1942**).

### Principe

Dans le sol, une partie plus ou moins importante du calcaire total se trouve à l'état de fines particules actives pour les végétaux et facilement solubilisées par les eaux riches en gaz carbonique.

Pour le dosage du calcaire actif on utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate est ensuite dosé (oxalate d'ammonium) par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.



### Calculs

La différence (N-n) correspond à la quantité d'oxalate de calcium précipité, c'est-à-dire à la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire actif.

1 ml de  $\text{KMnO}_4$  à 0,1 N, 0,005 g de  $\text{CaCO}_3$

Dans 10 ml de filtrat  $\longrightarrow$  (N-n) x 0,005 en g de calcaire actif (10/250 = 1/25 de la solution totale)

Dans 10 g de terre  $\longrightarrow$  (N-n) x 0,005 x 25 en g de calcaire actif (10/1000) = (1/100)

Dans 1000 g de terre  $\longrightarrow$  (N-n) x 0,005 x 25 x 100 = (N-n) x 12,5 de calcaire actif (N-n) x 12,5 g de calcaire actif dans 1000 g de terre (N-n) x 1,25 g de calcaire actif dans 100 g de terre.

### Les résultats en pourcentage (%)

$$\% \text{ CaCO}_3 \text{ calcaire actif} = (\text{N-n}) \times 1.25$$



**Figure 48** : dosage du calcaire actif (photo originale)

### f. Granulométrie

La granulométrie est définie comme étant la classification des éléments constitutifs d'un sol selon leur taille et la détermination de la quantité et le pourcentage respectif des différents éléments constituant (sables, limons, argiles). L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur, et de terminer le pourcentage de chaque fraction (Soltner, 1988).

#### ➤ Préparation des échantillons

Les échantillons de sols et sédiments sont séchés à l'air et tamisés à 2 mm les prises d'échantillon (0-2 mm) sont de 30 gr. La matière organique est détruite pour l'analyse granulométrique par attaque à l'eau oxygénée à 30 volumes, d'abord à froid, puis en chauffant à 400 c. Le sol est ensuite dispersé par agitation rotative dans des flacons de 300 cc après adjonctions d'héxamétaphosphate de sodium (1 g/litre de suspension). La suspension est alors tamisée à 200 um et 50 pm pour récupérer les sables grossiers (2 000 - 200 um) et les sables fins (200-50 lm). Ces derniers sont abondamment lavés à l'eau distillée, séchée à l'étuve à 105° C pendant 24 h puis pesés. Les eaux de lavage sont ajoutées à la suspension 50 - 0 um qui est alors transférée en allonges et amenée à un volume de 1 000 cc. La même suspension (50 - 0 um) est utilisée pour déterminer les teneurs en limons grossiers, limons fins et argiles selon les deux méthodes « pipette » et « Sedigraph ». 184

pipette » L'analyse est effectuée selon la technique en cours à l'orstom (SSC - Orstom, s. d.) : des fractions aliquotes de 20 cc de suspension 50 - 0 l.trn sont prélevées à 10 cm au bout de 4 minutes environ (le temps est fonction de la température au moment de l'analyse), puis au bout de 8 heures pour estimer les teneurs des fractions : argiles + limons fins (20- 0 um) et argiles (2 - 0 um). Les prélèvements sont séchés à 105O C puis pesés. En ramenant ces poids à un volume de 1 000 cc et en tenant compte de la quantité d'hexamétaphosphate ajoutée on détermine les poids des fractions 2 - 0 urn et 20 - 2 um, le poids de cette dernière étant calculé par différence entre les quantités de fractions 20 - 0 urn et 2 - 0 um. La totalité de la suspension restante est ensuite épuisée par siphonnages successifs de la fraction 20 - 0 lrn et le culot représentent la fraction 50 - 20 um. Tous les résultats sont exprimés en pourcentages du poids de l'échantillon initial sec à l'air. L'humidité de l'échantillon est déterminée par séchage à l'étuve à 105O C jusqu'à poids constant. La teneur en matière organique (% MO) est calculée à partir de la teneur en carbone (C %) selon la formule  $MO \% = C \% \times 1,72$ . Le carbone est dosé par voie sèche à l'aide d'un analyseur automatique CHN Carlo Erba.

### g. Matière organique

La matière organique joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du sol. Elle contribue à assurer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Elle contribue à permettre aux sols de résister aux phénomènes de désagrégation, de tassement (stabilité de structure) et de compaction grâce à sa capacité à former des complexes organominéraux stables qui confèrent au sol des propriétés plastiques. Elle contribue ainsi à assurer la capacité de respiration des sols (porosité), c'est-à-dire la bonne circulation des flux gazeux et liquides nécessaires au bon fonctionnement des sols. (Callot *et al.*, 1982)



**Figure 49** : Bain de sable (photo originale)

### **h. Phosphore**

**Méthode :** joret et hebert Méthode de **Joret et Hebert** (1955).

#### **Principe**

Le sol est agité à froid dans une solution aqueuse d'oxalate d'ammonium à pH=7, à une température de 20°C et sous agitation bien définie dans un rapport déterminée de prise d'essai/solution. Le dosage se fait par spectrophotométrie à 825 nm du complexe phosphomolybdique réduit par l'acide ascorbique en milieu sulfurique à chaud

### **15.2 Analyses physico-chimiques.**

#### **a. Détermination de la teneur en matière sèche (Arfnor ; 1985)**

#### **Principe**

La teneur en matière sèche d'un échantillon est déterminée en séchant 5g de produits dans

L'étuve à 105 C pendant 24h.

#### **Mode de calcul**

$$\%MS = M2/M1 \times 100$$

Avec :

M1 : Poids de la prise d'échantillon (en gramme) avant dessiccation ;

M2 : Poids de la prise d'échantillon (en gramme) après dessiccation ;

Le taux d'humidité est déterminé donc par déduction :  $\%H_2O = 100\% - \% MS$ .





**Figure 50** : matière sèche (photo originale)

### **b. Détermination de la teneur en matière minérale (Afnor ; 1985)**

#### **Principe**

La teneur en cendres de l'aliment est conventionnellement le résidu de la substance après destruction de la matière organique par l'incinération à 550 C dans un four à moufle pendant 2 heures, puis on met les creusets dans un dessiccateur pendant 45 min.

#### **Mode de calcul**

Calcul de la matière minérale en % :  $MM (\%) = (MM(g) / M1 - M2) \times 100$

Avec : M1 : Masse totale du creuset contenant la prise d'essai (en gramme)

M2 : Masse totale du creuset et les minéraux bruts (en gramme).



**Figure 51** : Matière minérale (photo originale)

### c. Détermination de la matière organique (Arfnor ; 1985)

Matière organique (%) = Matière sèche (%) – Matière minérale %

### d. Dosage des protéines brutes (Méthode de Lowry : 1951)

#### Principe

Les protéines réagissent avec le réactif Folin-Ciocalteu pour donner des colorés. La couleur ainsi formée est due à la réaction du phosphomolybdate par la tyrosine et tryptophane. L'intensité de la coloration dépend donc de la quantité d'acides aminés aromatiques présents et varie selon les protéines. Les densités optiques sont mesurées à 550 nm avec le spectrophotomètre contre un blanc qui contient tous les réactifs à l'exception des protéines.



**Figure 52 :** Dosage des protéines brutes (Méthode de Lowry) (photo originale)

### e. Dosage de lipides totaux (Soxhlet, 1879)

#### Principe

L'extraction par Soxhlet est une méthode simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais jusque l'épuisement complet du soluté dans la matière première. Le schéma de l'appareil Soxhlet est composé d'un corps en verre dans le quelle est placé une cartouche en papier filtre épais (une matière pénétrable pour le solvant, d'un tube siphon et d'un tube de distillation. Dans le montage l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction. Le ballon est chauffé afin de pouvoir faire bouillir son contenu. La cartouche contenant l'*Azolla* à extraire est insérée dans l'extracteur,

au-dessus du quelle est placé un réfrigérant servant à liquéfier les vapeurs du solvant. L'extraction continue jusqu'à l'épuisement d'azolla chargée dans la cartouche. La séparation du solvant de l'extrait est faite et l'aide de l'appareil appelé rota vapeur. Dans cet appareil on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grand et renouvelé permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. Ou bien par d'autres méthodes, qui se font par la récupération du solvant éther de pétrole et l'étuvage des ballons

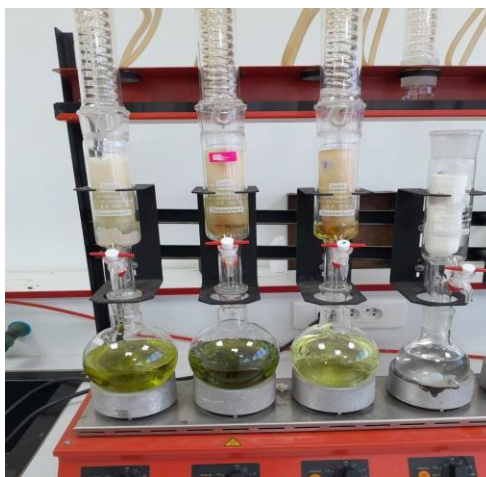
### Mode de calcul

On a calculé le pourcentage de matière grasse extraite selon la formule suivante :

$$\text{Lipides totaux (\%)} = \frac{P1 - P0}{5} \times 100.$$

P1 = ballon + extrait.

P2 = poids du ballon initial



**Figure 53:** Dosage de lipides totaux Soxhlet (photo originale)

### f. Dosage des polyphénols totaux par Folin Ciocalteu (Boizot *et* Charpentier ,2006)

#### Principe

En général, on mesure la quantité totale des composés phénoliques par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre selon la méthode de Folin-Ciocalteu. Le réactif de Folin-Ciocalteu

réagit avec les composés phénoliques, ce qui entraîne la diminution d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Le mélange d'oxyde bleu de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ) est produit lors de cette réaction d'oxydation des polyphénols. La coloration produite est liée à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux. L'absorbance est évaluée à une longueur d'onde de 765nm. La courbe d'étalonnage est réalisée avec différentes concentrations d'acide gallique (0 à 1 mg/ml), dans les mêmes conditions et étapes de dosage. On exprime donc les résultats en mg d'acide gallique équivalent par 1g de l'extrait (mg EC/g).

**g. Dosage des flavonoïdes par la méthode de trichlorure d'aluminium  $AlCl_3$  (Chang et al., 2002).**

### Principe

Le test colorimétrique utilisé pour mesurer le taux de flavonoïdes est basé sur l'utilisation du trichlorure d'aluminium  $AlCl_3$ , avec lequel ils forment des complexes acides stables, que ce soit avec le carbonyle (C=O) en position C-4, ou avec le groupe hydroxyle des flavones et des flavanols en position C-3 ou C-5. De plus,  $AlCl_3$  a la capacité de créer des complexes acides labiles avec les groupements orthodihydroxyles qui pourraient être présents sur le noyau A et/ou B des flavonoïdes. La capacité d'absorbance est lue à une longueur d'onde de 415nm. Une gamme d'étalonnage établie avec la quercétine permet de déterminer la concentration des flavonoïdes, qui est exprimée en mg d'équivalent de quercétine par 1g d'extrait (mg EQ/g d'extrait).

**h. Dosage des tanins condensés par la méthode à la vanilline avec l'HCl**

### Principe

La méthode à la vanilline avec l'HCl. La méthode repose sur la réaction entre la vanilline et le groupement flavonoïde terminal des TC, ce qui entraîne la formation de complexes rouges. Cette réaction est due à la capacité des tanins à se transformer en anthocyanidols de couleur rouge en réaction avec la vanilline. La méthode utilisée pour évaluer la teneur en tanins condensés a été décrite par **Julkunen-Titto (1985)**. On mesure l'absorbance à 550nm en utilisant un blanc. (**Ali-Rachedi et al., 2018**), une plage de concentration allant de 0 à 2000 $\mu$ g/ml de catéchine a été élaborée afin de créer une courbe d'étalonnage qui permet

d'exprimer la quantité de tanins condensés en mg équivalent de catéchine par gramme d'extrait.

### i. Dosage des caroténoïdes

Les caroténoïdes contiennent plusieurs doubles liaisons conjuguées dans leur Structure, ces doubles liaisons sont responsables de l'absorption dans la lumière par excitation des électrons des liaisons (**Rodriguez Amaya**, 2001). Le dosage des caroténoïdes a été effectué par la technique de (**Sass-Kiss et al**, 2005) avec modification. a. Mode opératoire 25 mg de la poudre est additionné à 10 ml d'un mélange de solvant (hexane, acétone, éthanol) (21 :1v/v). On agite le mélange pendant 15 min, puis le mélange est mis dans la centrifugeuse 24500 tours/min pendant 15 min.

La phase supérieure qui contient les pigments est récupérée, et dans les mêmes conditions précédentes le culot soumit une deuxième extraction. Après avoir mélangé les deux parties (hexanoïques), en mesure les absorbances du mélange à 450 nm. Les résultats sont exprimés en µg équivalent B-carotène par mg de matière végétale sèche en se référant à la courbe détalonnage du carotène (µg EB-C/mg MS).

### j. Chlorophylles

La méthode proposée par Lichtenthaler (**Lichtenthaler**. 1987), a été utilisée pour mesurer la chlorophylle et les caroténoïdes. Feuilles fraîches (0,1 g) ont été mélangés à 4 ml 80 % d'acétone et centrifugés à 3000 tr/min pendant 10 min l'absorbance du surnageant a été lu à 647, 664, et 470 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, et la chlorophylle a, la chlorophylle b, caroténoïdes, et le contenu en chlorophylle totale, respectivement, ont été déterminés comme suit:  $Chla = 12,21 (A664) - 2,79(A647)$ ;  $Chlb = 21,21 (A647) - 5,1 (A664)$ ;

### 15. Activité antimicrobienne

#### ➤ Réactivation de souches pathogènes

#### 15.1 Les souches pathogènes utilisées

Les germes pathogènes, *E.coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *P. mirabilis* et *C.albicans* .

#### 15.2 Le renouvellement et l'enrichissement des souches pathogènes

Les souches pathogènes sont renouvelées et enrichies en les ensemencements dans un bouillon BHIB à 37°C pendant 24 heures d'incubation avant chaque test, pour obtenir une culture jeune, il est nécessaire d'utiliser un antagonisme, puis d'ajuster la densité optique entre 0,08 et 0,1 à une longueur d'onde de 600 nm, ce qui correspond à 10<sup>8</sup> UFC / ml (**Kishor**, 2005).

#### 15.3 Méthode de diffusion en puits AWDT (**Barefoot et Klaenhammer**, 1983)

La méthode de diffusion en microbiologie (antibiogramme et antifongogramme) est largement employée. Elle se base sur la diffusion du composé antimicrobien dans un milieu semi-solide (gélose molle), où l'effet du produit antimicrobien sur la cible est mesuré.

La mesure d'une zone d'inhibition, qui a pour fonction de voir si la souche du testé est sensible, intermédiaire ou résistante, sera considérée comme étant sensible. Au sein de la méthode de diffusion, il existe une concurrence entre la croissance du microorganisme et l'impact de la diffusion du produit testé (**Broadasky et al.**, 1976).

Il s'agit de mélanger 15 ml de Muller Hinton molle avec 100µl d'une culture jeune de 24 heures d'incubation, avec un nombre de 10<sup>8</sup>.

La densité optique est de 0,08-0.1 UFC/ml sur une boîte de petri. Une fois qu'il s'est solidifié à température ambiante dans une zone stérile, des puits sont creusés à l'aide d'un embout stérile jaune. En règle générale, ils ont construit un puits par boîte de 6 mm de diamètre. On ajoute un volume de 50µl de l'extrait brut aux puits.

Les boîtes de pétri sont placées à une température de 37°C pendant une durée de 24 heures afin de favoriser la diffusion efficace de la substance antibactérienne (**Cintas et al.**, 1995 **Chaalel et al.**, 2015 ; **Chaalel et al.**, 2017).

Après 24 heures d'incubation, on examine la présence de zones d'inhibition autour des puits (**Hwanhlem et al.**, 2011). La mesure du diamètre des zones d'inhibition apparaissant permet de lire les résultats ; il sera considéré comme positif si le diamètre dépasse 2 mm.

### 15.4 Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est généralement perçue comme la concentration la plus basse de substance antimicrobienne capable d'empêcher la croissance visible d'un microorganisme spécifique après 24 heures d'incubation (**Ganière et al.**, 2004). La mesure du CMI a été effectuée en utilisant la méthode de micro dilution en milieu liquide selon la norme CLSI (Institut de normes clinico--laboratoires, 2008).

Dans cette méthode, des microplaques à fond rond (96 puits) sont employées afin de mesurer la concentration minimale d'inhibition. Dans chaque ligne de la microplaque, on ajoute 100 µl du bouillon nutritif BHIB. Par la suite, on ajoute 200 µl de l'extrait brut à tester dans le premier puits. Après avoir soigneusement mélangé le contenu du premier puits, on prélève 100 µl, puis on les dépose dans le deuxième puits, et on continue ainsi jusqu'au 11e puits où les 100 µl restants sont éliminés. En conséquence, une dilution de 1/2 est obtenue entre chaque puits. Le puits numéro 12 constitue le témoin négatif : il ne renferme que le bouillon nutritif. Finalement, 100 µl de l'inoculum ( $1 \times 10^6$  UFC/ml) sont versés dans chaque puits. Les microplaques sont fermées et conservées à une température de 37 °C pendant une durée de 24 heures.

# **Résultats et discussion**





























alimentaires. Le fait que les concentrations de 25 % et 100 % d'*Azolla* aient des résultats significatifs pourrait indiquer que ces niveaux de concentration entraînent une libération plus importante de composés volatils qui influencent positivement la perception de l'odeur. Cela est soutenu par les travaux de (**Patel et al.** 2019), qui ont montré que certaines plantes aquatiques, à des concentrations spécifiques, peuvent produire des arômes agréables en raison de la libération de certains composés lors du traitement thermique des aliments.

Le contraste entre les concentrations à 50 % et 75 %, qui affichent des pourcentages beaucoup plus faibles (4,6 % et 3,5 %), suggère une relation non linéaire entre la concentration d'*Azolla* et la perception de l'odeur. Cela pourrait s'expliquer par un effet de saturation ou de masquage des composés aromatiques à des concentrations intermédiaires. Une étude de (**Garg et al.** 2020) a montré que dans certaines matrices alimentaires, l'ajout de composants végétaux au-delà d'un certain seuil peut entraîner une diminution de la perception des arômes souhaitables, en raison de l'interaction entre les molécules volatiles et la matrice alimentaire elle-même.

La performance élevée observée à 100 % d'*Azolla*, avec un score de 26,6 %, pourrait indiquer une concentration critique où la libération des composés aromatiques atteint un pic, comme l'a suggéré (**Subramaniam et al.** 2021) dans leur étude sur l'impact des plantes aquatiques sur les caractéristiques sensorielles des aliments. À cette concentration, l'*Azolla* pourrait non seulement améliorer l'odeur, mais aussi interagir avec d'autres composants pour améliorer la perception sensorielle globale, y compris des aspects tels que l'apparence et le goût.

En revanche, le témoin positif, ainsi que les formulations à 50 % et 75 % d'*Azolla*, ont montré des performances sensiblement inférieures en termes de perception de l'odeur, ce qui pourrait être dû à une diminution de la concentration optimale de composés aromatiques volatils, comme mentionné dans les travaux de (**Prasad et al.** 2017). Cela met en évidence le fait qu'une concentration trop faible ou intermédiaire d'*Azolla* pourrait ne pas suffire pour générer des arômes détectables ou agréables.





nutriments aussi, Alcalinisation du pH (de 7,40 à 7,82). Augmentation de la conductivité électrique (de 0,219 à 0,336 ms/sm), indiquant une meilleure disponibilité des nutriments en solution et la Diminution du phosphore assimilable (de 130 ppm à 43 ppm), nécessitant un suivi.

Les analyses du sol effectuées avant et après l'application du biostimulant à base d'*Azolla* révèlent des améliorations notables de la fertilité et de la composition du sol. Une augmentation de l'azote total est particulièrement observée, un effet attendu, car *Azolla*, plante aquatique réputée, fixe efficacement l'azote atmosphérique grâce à sa symbiose avec les cyanobactéries, notamment *Anabaena azollae* (**Wagner, 1997**).

Une concentration accrue en azote améliore la disponibilité de cet élément essentiel pour la croissance des plantes, soutenant ainsi des rendements plus élevés (**Rouphael et Colla, 2020**).

L'enrichissement en matière organique après le traitement peut être attribué à la décomposition d'*Azolla*, qui contribue à une matière organique biodégradable dans le sol. Les biostimulants comme l'*Azolla* apportent des substances organiques qui enrichissent le sol en carbone et renforcent son activité microbienne (**du Jardin, 2015**). Cette hausse de la matière organique est favorable, car elle améliore la capacité de rétention en eau, l'aération et la structure du sol (**Calvo et al., 2014**).

La réduction du calcaire total et actif est notable. Un excès de calcaire actif peut limiter la disponibilité de certains nutriments, tels que le fer et le phosphore, en les rendant moins solubles dans le sol (**Marschner, 2012**). En abaissant le calcaire, le biostimulant peut donc contribuer à un meilleur accès aux nutriments pour les plantes, ce qui est particulièrement bénéfique dans les sols calcaires où les carences nutritionnelles sont fréquentes.

L'alcalinisation légère du pH (de 7,40 à 7,82) pourrait être due aux composés basiques libérés par la décomposition d'*Azolla*. Ce changement peut avoir un impact sur la disponibilité de certains nutriments, car le phosphore, le fer et le manganèse, par exemple, deviennent moins disponibles dans les sols à pH alcalin (**Marschner, 2012**). Cependant, l'effet reste modéré et peut ne pas affecter négativement la majorité des cultures.

L'augmentation de la conductivité électrique (de 0,219 à 0,336 ms/sm) indique une plus grande disponibilité des ions solubles, peut-être due aux nutriments libérés par le biostimulant. Une conductivité accrue est généralement associée à une meilleure fertilité, mais des valeurs élevées



peuvent parfois entraîner des risques de salinisation, bien que dans ce cas, les valeurs restent dans des limites favorables (**Pascual et al.**, 2021).

La diminution du phosphore assimilable (de 130 ppm à 43 ppm) suggère une absorption accrue de ce nutriment par les plantes ou les micro-organismes du sol, ce qui pourrait avoir été stimulé par le biostimulant. Une diminution de phosphore disponible peut nécessiter une fertilisation complémentaire si des déficiences sont constatées dans les cultures (**Chen et al.**, 2018). Cela souligne l'importance de suivre les niveaux de phosphore dans le sol pour assurer un équilibre entre les nutriments essentiels.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

Notre travail contribue à la recherche sur des solutions durables pour résoudre les problèmes environnementaux et améliorer la productivité agricole.

Dans le cadre de cette recherche, l'objectif principal est de tester et d'évaluer l'efficacité de l'Azolla en tant que biostimulant pour améliorer la croissance des plants pomme de terre et tomate. Les résultats obtenus démontrent que l'incorporation de l'Azolla contribue significativement à l'enrichissement de la stimulation des plantes, ce qui se traduit par une amélioration notable des paramètres de croissance des cultures, tels que la hauteur des plants, le nombre de feuilles, et le poids des fruits et tubercule. Les conclusions positives de notre travail soutiennent l'idée que l'utilisation de l'Azolla peut être une approche prometteuse pour une meilleure utilisation des ressources, la protection de l'environnement et l'amélioration de la productivité agricole.

Notre travail suggère que l'intégration de l'Azolla dans les pratiques culturales des pommes de terre et tomate est une approche durable, écologique, et potentiellement rentable, qui peut jouer un rôle clé dans le développement d'une agriculture plus résiliente face aux défis environnementaux et aux contraintes d'utilisation des produits chimiques. L'adoption de l'Azolla comme biostimulant offre une alternative prometteuse qui pourrait non seulement améliorer la productivité des cultures, mais également contribuer à la préservation de la santé des sols à long terme. Toutefois, afin d'optimiser pleinement les avantages de l'Azolla, il est impératif pour suivre les recherches pour approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents à son action et d'explorer les conditions d'application optimales en fonction des différentes variétés et des types de sols. De plus, l'évaluation des effets de l'Azolla à plus grande échelle et sur d'autres cultures pourrait renforcer son potentiel en tant qu'amendement organique. En somme, cette étude souligne la nécessité d'encourager l'adoption de pratiques agroécologiques qui favorisent la durabilité des systèmes de culture tout en assurant des rendements satisfaisants et une meilleure rentabilité pour les agriculteurs, tout en répondant aux enjeux de la durabilité environnementale et de la sécurité alimentaire.

## Conclusion générale

Les résultats de cette étude démontrent que l'incorporation de l'Azolla dans les pratiques culturales de la pomme de terre et de la tomate peut constituer une stratégie efficace pour améliorer les paramètres de croissance des plantes, incluant la hauteur des plants, le nombre de feuilles et le poids des fruits et tubercules. Cette amélioration est attribuée à la capacité de l'Azolla à fournir des nutriments essentiels, notamment l'azote, ainsi que des composés bioactifs favorisant la croissance végétale.

Sur le plan écologique, l'utilisation de l'Azolla s'est révélée bénéfique pour la santé des sols, en augmentant leur teneur en matière organique, leur capacité de rétention d'eau, et leur biodiversité microbienne. Ces améliorations contribuent non seulement à un accroissement de la résilience des cultures face aux stress environnementaux, mais aussi à une préservation de la fertilité des sols sur le long terme, essentielle pour la durabilité des systèmes agricoles.

L'étude suggère également que l'Azolla offre une alternative écologique aux engrais chimiques, ce qui pourrait réduire la dépendance aux intrants synthétiques, minimiser les coûts de production et potentiellement limiter les impacts environnementaux négatifs associés à leur utilisation. De plus, la facilité de culture de l'Azolla et ses propriétés biostimulantes en font une option prometteuse pour des pratiques agricoles plus durables et résilientes.

Ces résultats soutiennent l'intégration de l'Azolla dans les systèmes de culture comme une approche viable pour une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser son application, évaluer son impact à plus grande échelle et comprendre en profondeur les mécanismes sous-jacents à son action.

L'Azolla représente un levier potentiel pour accroître la productivité agricole de manière durable, contribuant à la sécurité alimentaire tout en respectant les impératifs de conservation environnementale.





















# **Références bibliographiques**



- ABBASSI, H., H. SMAILI, et al. (2022). Etude et état des lieux des systèmes de culture de la Pomme de Terre dans le sud Algérien, UNIVERSITE AHMED DRAIAADRAR.  
Djraoui, F., N. Mokhtari, et al. (2020). Effets des huiles essentielle de Pistacia lentiscus L. Sur la germination et la dormance de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L), université ibn khaldoun-tiaret.
- ABBASSI, H., H. SMAILI, et al. (2022). Etude et état des lieux des systèmes de culture de la Pomme de Terre dans le sud Algérien, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
- Académie des biostimulants, <http://www.biostimulants.fr/produits-utilisation/types-deproduits/les-biostimulants-microbiens-lexemple-des-micro-organismes-bacteriens/>. (s. D.)
- Afnor, 1985benchikhkhamza, G. N. (2021). *Etude de quelques paramètres physico-chimiques de la viande agneau* (Doctoral dissertation)
- Agustí, A., B. R. Celli, et al. (2023). "Global initiative for chronic obstructive lung disease 2023 report: GOLD executive summary." *American journal of respiratory and critical care medicine* 207(7): 819-837.
- Ait Hamou, K. And R. Sadouk (2017). Bioécologie de la teigne de la pomme de terre *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) sur trois variétés de pomme de terre (la Timate, la Synergy et la Fabula) dans les deux régions: Tamda et Oued Aissi, Université Mouloud Mammeri.
- Alam, M. M. And S. Moh (2022). "Joint topology control and routing in a UAV swarm for crowd surveillance." *Journal of Network and Computer Applications* 204: 103427.
- Alatab, S., S. G. Sepanlou, et al. (2020). "The global, regional, and national burden of inflammatory bowel disease in 195 countries and territories, 1990–2017: a



systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017." *The Lancet gastroenterology & hepatology* 5(1): 17-30.

- Aleksander, S. A., J. Balhoff, et al. (2023). "The gene ontology knowledgebase in 2023." *Genetics* 224(1): iyad031.
- Ali, M., Khan, T., Fatima, K., Ali, Q.U.A., Ovais, M., Khalil, A.T., Ullah, I., Raza, A., Shinwari, Z.K., Idrees, M. (2017). Selected hepatoprotective herbal medicines:
- Ali-Rachedi, F., S. Meraghni, et al. (2018). "Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L." *Bulletin de la société royale des sciences de liège*.
- Amano, H., Y. Baines, et al. (2018). "The 2018 gan power electronics roadmap." *Journal of Physics D: Applied Physics* 51(16): 163001.
- Anitha, M., S. Kamarudin, et al. (2016). "The potential of glycerol as a value-added commodity." *Chemical Engineering Journal* 295: 119-130.
- Ayaz A., Zaman W., Ullah F., Saqib S., Jamshed S., Bahadur S., Shakoora A., Arshad B. 2020. Systematic study through scanning electron microscopy; a tool for the authentication of herbal drug *Mentha suaveolens* Ehrh. *Microscopy research and technique*, 83(1), 81-87. (s. D.).
- BACHI, H. (2017). "Contribution à l'étude des nématodes phytopathogènes sur la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Et un essai de lutte biologique par l'utilisation des broyats des plantes."
- Badaoui, M. I., A. Berkani, et al. (2010). "Les entomopathogènes autochtones, nouvel espoir dans le contrôle biologique de *Tuta absoluta* Meyrick 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae) en Algérie." *Entomologie faunistique-Faunistic Entomology*.
- Bahri, A. And B. Houmane (1987). "Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie." *Science du sol* 25(4): 267-278.
- Baid, U., S. Ghodasara, et al. (2021). "The rsna-asnr-miccai brats 2021 benchmark on brain tumor segmentation and radiogenomic classification." arxiv preprint arxiv:2107.02314.
- Belhacini Fatima., (2011). Contribution à une étude floristique et biogéographique des matorrals du versant sud de la région de Tlemcen », En vue de l'obtention du Diplôme de Magistère, UNIVERSITE ABOU BAKR

- BENAICHA, C. And K. YAHIAOUI (2022). "Analyse physico-chimique du sol d'une plante médicinale: *Daphne gnidium* L au niveau de la région de Ain Temouchent."
- Benaïssa, A., R. Cherfia, et al. (2016). Etude des Capacités Antioxydantes et Antimicrobiennes de la Plante *Retama sphaerocarpa*. Conférence Adebitech. Modulation du stress oxydant: nouveaux concepts pour de nouvelles applications.
- Benichou, T., Giraud, J., Habigand, M., Turquand, M., Supagro, T.M., & Ballini, E. rapport technique-projet d'élèves ingénieurs n. (s. D.)
- Benissad, D. (2015). Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Cartier, Tomallow et Tavira) au littoral de la wilaya de Tizi-Ouzou (Azeffoun), Université Mouloud Mammeri.
- BENOUNES, Z., N. BENRHIOU, et al. (2023). Etude des paramètres agronomiques de quelques Populations de tomate (*Solanum lycopersicum* Var. *Esculentum*), Université Ibn Khaldoun.
- BENRAMDANE, N. (2015). Étude des pucerons vecteurs de virus sur trois variétés de pomme de terre en plein champs (ENSA-El Harrach), INA.
- Bensaid, C., C. Benyamna, et al. (2023). Evaluation de l'Activité Insecticide Des Composés Bioactifs Obtenus De l'*Azolla pinnata*, Université Ibn Khaldoun.
- Bezuglova, O., & Klimenko, A. (2022). Application of Humic Substances in Agricultural Industry. *Agronomy*, 12(3), 584. (s. D.)
- Bhatt, N., Chandra, R., Kumar, S., Singh, K., Singh, N. P., Rajneesh, et al. (2020). Nutritive Analysis of *Azolla pinnata* and its Cultivation during Winter Season. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 9(3), 2012–2018.  
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.233>
- Boehm, K., M. Duckheim, et al. (2018). "Heart rate variability for rapid risk stratification of emergency patients with malignant disease." *Supportive Care in Cancer* 26: 3289-3296.
- Boisduval, J. A. (1867). *Essai sur l'entomologie horticole: comprenant l'histoire des insectes nuisibles a l'horticulture avec l'indication des moyens propres a les éloigner ou a les détruire et l'histoire des insectes et autres animaux utiles aux cultures*, Librairie d'horticulture de E. Donnaud.

- Bolyen, E., J. R. Rideout, et al. (2018). QIIME 2: Reproducible, interactive, scalable, and extensible microbiome data science, peerj Preprints.
- Boraie, A. T., H. A. Ghabbour, et al. (2019). "Synthesis and anti-proliferative assessment of triazolo-thiadiazepine and triazolo-thiadiazine scaffolds." *Molecules* 24(24): 4471.
- BOULFEKHAR RAMDANI, H. (1998). "Inventaire des acariens des citrus en Mitidja."
- Boulogne, I., P. Petit, et al. (2012). "Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants : à review." *Environmental chemistry letters* 10(4): 325-347.
- Bourgeois, E. (2015). Contribution au développement de bioindicateurs microbiens pour l'évaluation de l'impact de pratiques agricoles sur les sols, Université de Bourgogne.
- BUJAK JONATHAN,A.B. (2019). Récupéré sur the Azolla foundation: <http://theazollafoundation.org/azolla/the-west-discovers-azolla/>
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. (s. D.)
- C.I.V. (2010). Valeurs Nutritionnelles des Viandes, Paris.
- Calvo P., Nelson L. Et Kloepper J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil* 383, 3-41
- Carlsson, B. L., Jacobsson, L., & Andersson, L. (2006). Genetic regulation of featherdevelopment in the chicken. *Animal Genetics*, 37(3), 217-224. Veuillez consulter ces
- Castro, M. A., J. W. Martínez, et al. (2016). "Evaluación del efecto regulador de Chrysoperla externasobre mosca blanca Trialeurodes vaporariorum en tomate." *Revista de Ciencias Agrícolas* 33(2): 43-54.
- Chamayou et Legros., (1989), Melle Bounedjoum Aldja. (2016)
- Chander H., Kumar G. A Study on the Potential of Azolla pinnata as livestockfeedsupplement for Climate Change Adaptation and Mitigation. 2017
- Chanel, E. H. (2016). Identifier des microalgues pour le traitement des eaux. UNIVERSITE LIBANAISE FACULTE DE GENIE .
- Chaux, C. And C. Foury (1994). "Solanacées: Tomate." *Productions légumières: légumineuses potagères, légumes fruits*,(Paris: Lavoisier): 161-165.
- Choudourou, D., A. Agbaka, et al. (2012). "Inventaire préliminaire de l'entomofaune des champs de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la Commune de Djakotomey au Bénin." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6(4): 1798-1804.

- CNIS. (2021). Statistiques du commerce extérieure de l'Algérie. Services des douanes. Centre Nationale de l'Informatique et de statistiques.
- CNRC. (2020). Traitement statistique du fichier du CNRC relatif aux inscriptions du registre de commerce.
- Committee, W., T. J. Gluckman, et al. (2022). "2022 ACC expert consensus decision pathway on cardiovascular sequelae of COVID-19 in adults: myocarditis and other myocardial involvement, post-acute sequelae of SARS-cov-2 infection, and return to play: a report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee." *Journal of the American College of Cardiology* 79(17): 1717-1756.
- Cronin, E. M., F. M. Bogun, et al. (2019). "2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHRs expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias." *EP Europace* 21(8): 1143-1144.
- D.)
- Dag, O., A. Dolgun, et al. (2018). "Onewaytests: An R Package for One-Way Tests in Independent Groups Designs." *R Journal* 10(1).
- Das, M., A. Das, et al. (2020). "Examining the impact of lockdown (due to COVID-19) on Domestic Violence (DV): An evidences from India." *Asian journal of psychiatry* 54: 102335.
- Davis, S. J., N. S. Lewis, et al. (2018). "Net-zero emissions energy systems." *Science* 360(6396): eaas9793.
- De Alcântara, A. V., P. L. Azevedo, et al. (2015). "Comparative study on total lipid quantification and oxidative rancidity determination in freshwater fish species with different fat levels." *J Food Stud* 4: 34.
- De Lowry, M. (2014). "Méthode de Lowry." *Nature* 514.
- Desfontaines, L., Rotin, P., & Ozier-Lafontaine, H. (2018). Les Biostimulants: Qu'en savons-nous? Quelles alternatives pour l'agriculture Guyanaise?. *Innovations Agronomiques*, 64, 31- 46 , (s. D
- Diomande M., Grogga N. & Kouame K.B. (2017). Effet des filtrats de fiente de poulet et bouede vache sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de farine d'algues vertes (*Azolla filiculoidales* et *Azolla caroliniana*). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(10) : 1535 - 1548.
- Divya, P., Kanimozhi, K., Poornima, S., & Tamilarasu, S. (2020). Shelf life and physicochemical evaluation of *Azolla pinnata* incorporated yogurt. *Journal of Critical Reviews*, 7(7), 770–773
- DJEBROUNE, A. (2019). Etude de la bioécologie des nématodes à kystes du

genre

Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre.

- DJEBROUNE, A. (2019). Etude de la bioécologie des nématodes à kystes du genre
- Djraoui, F., N. Mokhtari, et al. (2020). Effets des huiles essentielle de Pistacia lentiscus  
L. Sur la germination et la dormance de la pomme de terre (Solanum tuberosum L),université ibn khaldoun-tiaret.
- Djraoui, F., N. Mokhtari, et al. (2020). Effets des huiles essentielle de Pistacia lentiscus L. Sur la germination et la dormance de la pomme de terre (Solanum tuberosum L), université ibn khaldoun-tiaret.
- Djraoui, F., N. Mokhtari, et al. (2020). Effets des huiles essentielle de Pistacia lentiscus L. Sur la germination et la dormance de la pomme de terre (Solanum )
- Dommergues Y.R., Diem H.G. Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity. Developments in plant and soil science. (1982). 5. 329p.
- Donati, L., Bertin, S., Gentili, A., Luigi, M., Taglienti, A., Manglli, A., ... & Ferretti, L. (2022). Effets des biostimulants organiques ajoutés à la zéolite sur les plants de courgettes infectés par le virus de la tomate Leaf Curl New Delhi. Virus , 14 (3), 607. (s. D.).
- Drouineau, 1942.AICHA, A. (2021). *Effet de la salinité des carbonates et bicarbonates sur la variation du stock organique du sol* (Doctoral dissertation, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie).
- Du Jardin, P. (2015). "Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation." Scientia horticulturae 196: 3-14.
- Du Jardin, P. (2015). "Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation." Scientia horticulturae 196: 3-14.
- El-Deep MH, Amber KA, El-Kholy MS, et al. Effect of partial replacement of protein in broiler chicken diets with Azolla pinnata meal on the performance, carcass yield, and immune response. Vet World. 2020;13(5):914-920. Lien vers l'article [🔗](#)
- Ella, R., S. Reddy, et al. (2021). "Efficacy, safety, and lot-to-lot immunogenicity of an inactivated SARS-cov-2 vaccine (BBV152): interim results of a randomised, double-blind, controlled, phase 3 trial." The Lancet 398(10317): 2173-2184.
- . Faessel L., Gomy C., Tostivint C., Dechanteloup A., Nassr N., Hipper C. Etude

réalisée par BIO by Deloitte et RITMO Agroenvironnement et commanditée par le Centre d'Études et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt (MAAF). (2014) Rapport final : Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes –Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques. 155p. (s. D.).

- 
- Fabre, R., M. Duval, et al. (2011). "Influence de la salinité sur la qualité gustative et le rendement de tomates greffées cultivées hors-sol sous serre chauffée dans le Sud de la France." *Cahiers Agricultures* 20(4): 266-273 (261).
- FAO(Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).2022.L'Etat des ressources en terre et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde des systemes au bord de la rupture. Rapport principale. Rome,FAO.
- FAO. (2022). l'Annuaire statistique de l'alimentation et de l'agriculture mondiales 2022.
- Fardeau, J.-C., C. Morel, et al. (1988). "Pourquoi choisir la methode Olsen pour estimer le phosphore" assimilable" des sols?" *Agronomie* 8(7): 577-584.
- Farfán, R. And J. Iannacone (2009). "EVALUACIÓN DEL DISEÑO, COLOR Y ALTURA DE COLOCACIÓN DE TRAMPA CON FEROMONAS SEXUALES EN LA CAPTURA DE TUTA ABSOLUTA (MEYRICK 1917)(LEPIDOPTERA: gelechllidae), TRIALEURODES VAPORARIORUM (WESTWOOD 1856)(HOMOPTERA: ALEYRODIDAE) Y DOS DÍPTEROS NO DESTINATARIOS." *Biotempo* 9: 14-36.
- FEEDIPEDIA. (2019). Récupéré sur <https://www.feedipedia.org/node/565>.
- Flores-Hernández, L. A., R. Lobato-Ortiz, et al. (2017). "Parientes silvestres del tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie." *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(1): 83-91.
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on Crops : Their Impact under Abiotic Stress Conditions. *Horticulturae*, 8(3), 189.(s.
- Gallais, A. And H. Bannerot (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection, Editions Quae.
- García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Navarro-Pérez, V., & Alfosea-Simón, M. (2022). Scientific Advances in Biostimulation Reported in the 5th Biostimulant World Congress. *Horticulturae*, 8(7), 665. (s. D.).

- Garg, R., A. Agarwal, et al. (2020). "A review on mxene for energy storage application: effect of interlayer distance." *Materials Research Express* 7(2): 022001.
- Garg, S. K. And C. Krishnan (2019). "Bounds on slow roll and the de Sitter swampland." *Journal of High Energy Physics* 2019(11).
- Globodera inféodés à la culture de la pomme de terre.
- Grathwohl, W., R. T. Chen, et al. (2018). "Fjord: Free-form continuous dynamics for scalable reversible generative models." arxiv preprint arxiv:1810.01367.
- Grogga, N., M. Diomande, et al. (2018). "Étude comparative de la qualité de la symbiose (*Anabaena azollae*, *Azolla caroliniana*), du compost et du NPK sur la croissance végétative et le rendement de la tomate (*Lycopersicon esculentum* mill. Solanacée) à Daloa (Côte d'Ivoire)." *Journal of Applied Biosciences* 129: 13004-13014.
- HANENE, K. M. (2022). Valorisation des algues issues d'un chenal algal à haut rendement: potentialités biofertilisants, faculté des sciences et de la technologie univ bba.
- Haque, M., M. Salam, et al. (2015). "Association of pathogenic *Vibrio cholerae* O1 and O139 with zooplankton."
- Holden, E., G. Calvo, et al. (2014). "Evaluation of facial expression in acute pain in cats." *Journal of Small Animal Practice* 55(12): 615-621.
- Hooda, M., C. Rana, et al. (2022). "Artificial intelligence for assessment and feedback to enhance student success in higher education." *Mathematical Problems in Engineering* 2022(1): 5215722.
- Ilimi, H. And A. Aifoune (2017). Contribution à la caractérisation agronomique et environnementale des sols de parcelles viticoles, Université Mouloud Mammeri.
- Insa, S. (2023). "instabilite des prix à la production, decision de production et environnement macroeconomique : cas des pays de l'afrique de l'ouest et du centre (aoc) producteurs de coton." *Revue des Études Multidisciplinaires en Sciences Économiques et Sociale* 8(1).
- Julkunen-Titto, R. (1985). "Phenolic constituents in the levels of northern willows: methods for precursors of clarified apple juice sediment." *J. Food sci* 33: 254-257.
- Kamal, M. I., S. Syamsuddin, et al. (2020). "Pengaruh jenis mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas cabai merah (*Capsicum annum* L.) Pada tanah Andisol lembah seulawah aceh besar." *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*

5(2): 61-70.

- Kamal, Y. K. T. K., M. Singh, et al. (2015). "Stability-indicating RP-HPLC method for the determination of 6-gingerol in polyherbal formulations." *Journal of Analytical Science and Technology* 6: 1-7.
- Kannah, R. Y., S. Kavitha, et al. (2021). "Techno-economic assessment of various hydrogen production methods—A review." *Bioresource Technology* 319: 124175.
- KAOUACHI, O. Evaluation des préjudices sur la culture de la tomate dans la région du Souf, UNIVERSITE KASDI MERBAH–OUARGLA.
- Kauffman, G. L., D. P. Kneivel, et al. (2007). "Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass." *Crop science* 47(1): 261-267.
- Khelifa, M. And A. Tayebi (2020). Evaluation des activités biologiques des extraits phénoliques de la cannelle (*Cinnamomum zeylanicum*) et du gingembre (*Zingiber officinale*), Université Ibn Khaldoun.
- Klein, J.-L., A. Camus, et al. (2016). *La transformation sociale par l'innovation sociale*, Presses de l'Université du Québec.
- Kong, Zhaoyu, HART, Miranda, et Liu, Hongguang. Ouvrir la voie du laboratoire au champ : utiliser des consortiums microbiens synthétiques pour produire des cultures de haute qualité. *Aux frontières de la phytologie*, 2018, vol. 9, p. 1467
- Kumar, H. D., & Alope, P. (2020). Role of biostimulant formulations in crop production : An overview. *Int. J. Appl. Res. Vet. M*, 8, 38-46. (s. D.).
- Kumar, S. (2017). "Kumar." Ultra wide field imaging of coats like response in Leber's congenital amaurosis. *Saudi J Ophthalmol* 31: 122-123.
- Lakhdari, W., A. Dehliz, et al. (2020). "AGRO-MORPHOLOGICAL RESPONSE OF CORN (*Zea mays* L.) TO A BIOSTIMULANT FROM THE SOUTHEASTERN ALGERIA."
- Lamichhane, G., A. Acharya, et al. (2023). "Microplastics in environment: global concern, challenges, and controlling measures." *International Journal of Environmental Science and Technology* 20(4): 4673-4694.
- Lamichhane, G., A. Acharya, et al. (2023). "Microplastics in environment: global concern, challenges, and controlling measures." *International Journal of Environmental Science and Technology* 20(4): 4673-4694.
- Landy, F. "Abaab Ali, 2006,«La région de Sidi Bouzid», in M. Picouët (dir.)." *Méditerranée* 114: 145.



- LAZDEK, N. E. H. (2019). Effet antagoniste de métabolites microbiens sur l'agent du mildiou de la pomme de terre par application racinaire, université ibn khaldoun-tiaret.
- Lentiscus L. Sur la germination et la dormance de la pomme de terre (Solanum
- Liu et al. (2019). "Corn (Maize) in Animal Nutrition." In: Feed and Feeding Practices in Aquaculture. Woodhead Publishing. DOI: 10.1016/B978-0-12-812812-7.00006-6.
- Liu, L. (2018). Les stéréotypes en mouvement dans la communication interculturelle : le cas de l'évolution des stéréotypes chez les étudiants chinois, Université de Strasbourg.
- Liu, L. (2018). Les stéréotypes en mouvement dans la communication interculturelle : le cas de l'évolution des stéréotypes chez les étudiants chinois, Université de Strasbourg.
- López-Belmonte, J., A.-J. Moreno-Guerrero, et al. (2023). "Augmented reality in education. A scientific mapping in Web of Science." Interactive learning environments 31(4): 1860-1874.
- López-Belmonte, J., A.-J. Moreno-Guerrero, et al. (2023). "Augmented reality in education. A scientific mapping in Web of Science." Interactive learning environments 31(4): 1860-1874.
- Malika, A., B. F. Zohra, et al. (2021). Etude Du Pouvoir Antibactérien Des Composés bioactifsissus De l'Azolla Et Optimisation Des Conditions De Leur Extraction, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie.
- Marschner, P. (2012). Rhizosphere biology. Marschner's mineral nutrition of higher plants, Elsevier: 369-388.
- Mathieu, C., F. Pieltain, et al. (2003). Analyse chimique des sols: Méthodes choisies, Tec & doc.
- Mazouz, A. And Z. Sifaoui (2022). Etude comparative des différents types de fertilisations: minérale et organique sur la production chez deux variétés de courgette (Cucurbita pepo), Université Mouloud Mammeri.
- MEHIAOUI, A. (2015). Contribution à l'étude des populations de la mineuse de la tomate Tuta absoluta dans la région de Tlemcen, University of Tlemcen.
- Mehta, H., A. Gupta, et al. (2022). "Long range language modeling via gated state spaces." arxiv preprint arxiv:2206.13947.

- Micikevicius, P., S. Narang, et al. (2017). "Mixed precision training." arxiv preprint arxiv:1710.03740.
- Mickky, B. M. And H. S. Aldesuquy (2017). "Impact of osmotic stress on seedling growth observations, membrane characteristics and antioxidant defense system of different wheat genotypes." *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(1): 47-54.
- Mishra, A., M. Kumar, et al. (2021). "Multidimensional approaches of biogas production and up-gradation: opportunities and challenges." *Bioresource Technology* 338: 125514.
- Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2020). Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oil of *Thymus vulgaris* Grown in Iran against Some Plant Pathogenic Fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(5), 1072-1083. (s. D.)
- Mokrab, I., A. E. Saih, et al. (2024). *Biomaticha/Transformation de la tomate en poudre pour remplacer le concentré.*
- Molina-Alcaide, M.D. Carro, M.Y. Roleda, M.R. Weisbjerg, V. Lind, M. Novoa-Garrido. In vitro ruminal fermentation and methane production of different seaweed species. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 228 (2017), pp. 1-12.
- Mondal, M. R. H., S. Bharati, et al. (2020). "Data analytics for novel coronavirus disease." *informatics in medicine unlocked* 20: 100374.
- Mondal, P., A. Anweshan, et al. (2020). "Green synthesis and environmental application of iron-based nanomaterials and nanocomposite: A review." *Chemosphere* 259: 127509.
- MOSTEFAOUI, O. (2017). "Importance des ravageurs invertébrés de quelques cultures maraichères de la région du Souf."
- Moussaoui, 2016. BENAICHA, C., & YAHIAOUI, K. (2022). Analyse physico-chimique du sol d'une plante médicinale: *Daphne gnidium* L au niveau de la région de Ain Temouchent
- Mouthana, M. M. "Enquête sur l'état phytosanitaire des tomates Cultivées dans La région de Tolga."
- Muhammad, A., Nadeem, S., Arooba, A., Amjad, E., Shafaqat, A., & Muhammad, R. (2020). Beneficial role of *Azolla* sp. In paddy soils and their use as bioremediators in polluted aqueous environments: implications and future perspectives. *Archives of Agronomy and Soil Science*. DOI: 10.1080/03650340.2020.1786885

- Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26(8), 2256. (s. D.)
- Nassar, L. R., G. P. Barber, et al. (2023). "The UCSC genome browser database: 2023 update." *Nucleic acids research* 51(D1): D1188-D1195.
- Nickenig, G., R. Estevez-Loureiro, et al. (2014). "Percutaneous mitral valve edge-to-edge repair: in-hospital results and 1-year follow-up of 628 patients of the 2011–2012 Pilot European Sentinel Registry." *Journal of the American College of Cardiology* 64(9): 875-884.
- Of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Science*, 295, 110194. (s. D.).
- Orlandi, R. R., T. T. Kingdom, et al. (2021). International consensus statement on allergy and rhinology: rhinosinusitis 2021. *International forum of allergy & rhinology*, Wiley Online Library.
- Oued Aissi, Université Mouloud Mammeri.
- Pachauri, R. K. And A. Reisinger (2008). *Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse*, GIEC.
- Parađiković, N., Teklić, T., Zeljković, S., Lisjak, M., & Špoljarević, M. (2019). Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. *Food and Energy Security*, 8(2), e00162. (s. D.).
- Patel, A., J. Bilinska, et al. (2022). "Clinical features and novel presentations of human monkeypox in a central London centre during the 2022 outbreak: descriptive case series." *bmj* 378.
- Patel, D. B., K. M. Gray, et al. (2017). "Impact of cell culture parameters on production and vascularization bioactivity of mesenchymal stem cell-derived extracellular vesicles." *Bioengineering & translational medicine* 2(2): 170-179.
- Patra, C., R. Gupta, et al. (2020). "Surface treated acid-activated carbon for adsorption of anionic azo dyes from single and binary adsorptive systems: A detail insight." *Environmental Pollution* 266: 115102.
- *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) sur trois variétés de
- Pois, L. And F. Tomate (1995). "Légumes."
- Pomme de terre (la Timate, la Synergy et la Fabula) dans les deux régions: Tamda et

- Pörtner, H.-O., R. J. Scholes, et al. (2021). "IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change."
- Povero G., Mejia J.F., Di Tommaso D., Piaggese A., Warrior P. (2016). A Systematic Approach to Discover and Characterize Natural Plant Biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, vol. 7 pp.435
- Prasad, R., A. Bhattacharyya, et al. (2017). "Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives." *Frontiers in microbiology* 8: 1014.
- Rahal, A. (2019). Azolla-emerging animal feed. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*.
- Références pour obtenir plus d'informations détaillées sur les caractéristiques phénotypiques et génotypiques de la poule cou-nu.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2001). *A guide to carotenoid analysis in foods*, ILSI press
- Rouphael, Y. And G. Colla (2020). Biostimulants in agriculture, *Frontiers Media SA*. 11: 40.
- Roy, D. C., Pakhira, M. C., & Bera, S. (2016). A Review on Biology, Cultivation and Utilization of Azolla. *Advances in Life Sciences*, 5(1), 11-15. ISSN 2278-3849
- Rozwandowicz, M., M. Brouwer, et al. (2018). "Plasmids carrying antimicrobial resistance genes in Enterobacteriaceae." *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 73(5): 1121-1137.
- Saa, S. Et Brown, P. (2015). —Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*
- Sabry, F. (2021). Systèmes Écologiques Fermés: Comment les ressources accessibles à la vie peuvent-elles être réutilisées?, *One Billion Knowledgeable*.
- Saha, S., B.-H. Jeon, et al. (2019). "Interspecies microbial nexus facilitated methanation of polysaccharidic wastes." *Bioresource Technology* 289: 121638.
- Saia, S., G. Corrado, et al. (2021). "An endophytic fungi-based biostimulant modulates volatile and non-volatile secondary metabolites and yield of greenhouse basil (*Ocimum basilicum* L.) Through variable mechanisms dependent on salinity stress level." *Pathogens* 10(7): 797.
- Salehi, A. W., S. Khan, et al. (2023). "A study of CNN and transfer learning in medical imaging: Advantages, challenges, future scope." *Sustainability* 15(7): 5930.

- Sass-Kiss, A., J. Kiss, et al. (2005). "Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables." *Food Research International* 38(8-9): 1023-1029.
- Schroder, J. N., C. B. Patel, et al. (2023). "Transplantation outcomes with donor hearts after circulatory death." *New England Journal of Medicine* 388(23): 2121-2131.
- SEDDIK, H. (2018). "La production et la commercialisation des fruits et légumes en Algérie. Etat des lieux et perspectives." *Cinq Continents* 8(18).
- Seleiman, M. F., M. T. Aslam, et al. (2022). "Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies." *Phyton* (0031-9457) 91(4).
- Serghini-Caid et al. (2013). "Wheat in Animal Nutrition." In: *Encyclopedia of Food Grains*. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00559-0.
- Sharma, P., M. V. Kimothi, et al. (2023). "Sharma 4."
- Singh, M. D. (2017). "Nano-fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production." *International Journal of Agriculture Sciences*, ISSN 9(7): 0975-3710.
- Sissaoui, M., Z. Chabani, et al. (2022). Développement d'un biostimulant à partir d'un cocktail de plantes locales, Université de Jijel. (1997). *Atriplex nummularia*, espèce pionnière contre la désertification. FAO. XI Thèse de doctorat, Université Layon, 140 P. Thèse Doctorat. Université .Sc. Tech. De Languedoc Montpellier, OPU, Alger, 1984. 177 p. Travaux et document. OST ROM. N° 116. Paris. 555 P
- SOUDANI, N. (2022). Etude de l'impact des produits phytosanitaires sur l'environnement par l'utilisation de modèles d'évaluation de risques dans la région de Biskra, Université Mohamed Khider de Biskra.
- Sterlin, D., J. Fadlallah, et al. (2020). "Human iga binds a diverse array of commensal bacteria." *Journal of experimental medicine* 217(3).
- Subedi, D. (2016). "Explanatory sequential mixed method design as the third research community of knowledge claim." *American Journal of Educational Research* 4(7): 570-577.
- Sukhotu, T., O. Kamijima, et al. (2005). "Genetic diversity of the Andean tetraploid cultivated potato (*Solanum tuberosum* L. Subsp. *Andigena* Hawkes) evaluated by chloroplast and nuclear DNA markers." *Genome* 48(1): 55-64.
- Sukhotu, T., O. Kamijima, et al. (2005). "Genetic diversity of the Andean tetraploid cultivated potato (*Solanum tuberosum* L. Subsp. *Andigena* Hawkes) evaluated by chloroplast and nuclear DNA markers." *Genome* 48(1): 55-64.

- TARCHAG, C. (2020). "Effet des doses d'irrigation sur la culture de tomate dans la région de Biskra."
- Tuberosum L), université ibn khaldoun-tiaret.
- Umar Yusuf, Musa Muhammad, Antibacterial Properties of Mentha pulegium, publiée par MDPI, l'année de publication 2020. (s. D.)
- Unies, N. (1992). "Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques." New York 9.
- Verma, P. And R. Sagar (2021). "The response of soil organic carbon to nitrogen-induced multiple ecological attributes." Environment, Development and Sustainability 23(3): 4120-4133.
- Vilendrer, S., S. Sackeyfio, et al. (2022). "Patient perspectives of inpatient telemedicine during the COVID-19 pandemic: qualitative assessment." JMIR formative research 6(3): e32933.
- Wagner, D., M. J. Brown, et al. (1997). "Harvester ant nests, soil biota and soil chemistry." Oecologia 112: 232-236.
- Walsh, N. P., S. L. Halson, et al. (2021). "Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations." British journal of sports medicine 55(7): 356-368.
- Washington, DC, USA:.
- Web master 02  
:http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rap  
p
- Wood, L. W. (1985). "Chloroform-methanol extraction of chlorophyll a." canadian journal of fisheries and aquatic sciences 42(1): 38-43.
- Yadav, K. K., N. Gupta, et al. (2018). "Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects." Ecological engineering 120: 274-298.
- Yao, X., Nie, J., Bai, R., & Sui, X. (2020). Amino acid transporters in plants : Identification and function. Plants, 9(8), 972. (s. D.)
- Zaid, R., N. Gauthier, et al. (2019). "Dynamique des populations et des infestations de la mineuse sud-américaine de la tomate tuta absoluta sur trois cultures maraichères en Algérie: influence de la plante-hôte et des variations de température." Agrobiologia 9(2): 1715-1730.
- Zulfiqar, F., Casadesús, A., Brockman, H., & Munné-Bosch, S. (2020). An overview